N1 P1497

inra

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES ET VETERINAIRES DE THEIX

B 5 FEV 1988
DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES VETERINAIRES

ALIMENTATION DES RUMINANTS :

RÉVISION DES SYSTÈMES ET DES TABLES DE L'INRA

BTT-71

ISSN 0395-7519

BULLETIN TECHNIQUE

N° 70 - DECEMBRE 1987

trimestriel

ERRATA Bulletin Technique n° 70

ALIMENTATION DES RUMINANTS : REVISION DES SYSTEMES ET DES TABLES DE L'INRA

*

- Article de VERITE et al. (Révision du système PDI)
  p. 26 : Additif au titre du tableau 5 : (Valeurs retenues pour l'élaboration des Tables).

- Article de DULPHY et al. (Révision du système des U.E.)
  p. 42, *tableau 8* : Très bonnes conditions de végétation
  lire pour le stade vitreux : (> 65 % d'épis dans la M.S.)

  p. 46, *milieu de colonne de gauche, lire* : * K, l'asymptote de la courbe est égale au rapport de la concentration énergétique de l'aliment concentré à celle du fourrage, *au lieu de* : du fourrage à celle de l'aliment concentré.

- Article de ANDRIEU, DEMARQUILLY (Valeur nutritive des fourrages)
  p. 62, *colonne de gauche, 1er §, lignes 5 et 6 ; lire* : comme l'indiquent GUEGUEN et al. (1988) pour les macro-éléments minéraux autres que le calcium et le phosphore.

- Article de SAUVANT et al. (Valeur nutritive des concentrés simples) :
  p. 83, *tableau 6* : les teneurs en cellulose brute, lignocellulose et protéines brutes sont exprimées en p. 100 de la M.S.

- Article de DOREAU et al. (Besoins en lipides)
  p. 92, *figure 1, lire en ordonnée* : acides gras longs secrétés. Par ailleurs, les surfaces hachurées représentent une estimation des acides gras provenant du tissu adipeux.

- Article de GUEGUEN et al. (Minéraux majeurs)
  p. 109, *colonne de droite, 3e §, ligne 6, lire* : N/kg MODR ;
  ligne 11, lire : De nombreuses expériences montrent un effet positif de la supplémentation en soufre sur ...

- Article de CHILLIARD et al. (Réserves corporelles)
  p.129, *5e ligne, lire* est comprise entre 0,4 et 0,6 *au lieu de* est aussi voisine de 0,6.

- Article de AGABRIEL et PETIT (Vaches allaitantes).
  L'agencement des pages n'ayant pas été respecté lors du "montage", il faut lire le texte dans l'ordre des pages suivant :
  153 - 156 - 154 - 155 - 158 - 157 - 159 - 160 - 161 - 162 - 164 - 163 - 165.

*

ERRATA : BULLETIN TECHNIQUE DU CRZV DE THEIX

Numéro 70 : "ALIMENTATION DES RUMINANTS : REVISION DES SYSTEMES ET DES TABLES DE L'INRA"

REVISION DU SYSTEME DES UNITES FOURRAGERES (UF)

* Page 13, Tableau 1, les valeurs UFL et UFV des ensilages d'herbe sont les suivantes

ENSILAGES		UFL 1978	UFL 1988	Δ	UFV 1978	UFV 1988	Δ
Prairie permanente de plaine, 1er cycle, brins courts, avec conservateur	début épiaison	0,86	0,89	+ 0,03	0,80	0,83	+ 0,03
	épiaison	0,77	0,80	+ 0,03	0,69	0,72	+ 0,03
Ray-grass d'Italie, 1er cycle, brins courts, avec conservateur	début épiaison	0,84	0,89	+ 0,05	0,79	0,83	+ 0,04
	fin épiaison	0,77	0,80	+ 0,03	0,70	0,73	+ 0,03
Luzerne 1er cycle	bourgeonnement	0,75	0,77	+ 0,02	0,67	0,68	+ 0,01

* Page 17, tableau 3, titre, lire : Ces valeurs doivent être retranchées aux apports UFL de la ration, au lieu de : Ces valeurs doivent être ajoutées aux besoins en UFL de l'animal avant de calculer la composition de la ration à distribuer

REVISION DU SYSTEME DES PROTEINES DIGESTIBLES DANS L'INTESTIN (PDI)

* Page 20, paragraphe 1, ligne 18, lire : dégradabilité au lieu de dégrabalité
  paragraphe 2, ligne 30, lire : 50 p 100 au lieu de 50 p 500.
* Page 26, titre du tableau 5, ajouter : valeurs retenues pour l'élaboration des Tables
* Page 27, titre du tableau 6, lire : ammoniacal au lieu de ammonicial
* Page 30, tableau 8, lire : canal cholédoque au lieu de canal choléodoque

REVISION DU SYSTEME DES UNITES D'ENCOMBREMENT (UE)

* Page 42, tableau 8, ligne 9, lire : > 65 % d'épis dans la MS au lieu de > 65 % de MS
* Page 43, paragraphe 1, ligne 19, lire : (VEF) au lieu de (VER)
* Page 45, figure 6, lire : $R_{27,5}$ au lieu de $R_{27\ 5}$
* Page 46, colonne de gauche, ligne 27, lire : K, l'asymptote de la courbe, est égale au rapport de la concentration énergétique de l'aliment concentré à celle du fourrage, au lieu de : du fourrage à celle de l'aliment concentré

  Page 46, figure 7, axe Δ MSRB calculé, lire 3,5 au lieu de 0,5

VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES : TABLES ET PREVISION

* Page 62, colonne de gauche, ligne 5, lire : comme l'indiquent GUEGUEN et al. (1988) pour les macro-éléments minéraux autres que le calcium et le phosphore, au lieu de : comme l'indiquent GUEGUEN et al (1988) pour le calcium, le phosphore et les autres macro-éléments minéraux.

* Page 67, tableau 4, ligne 1, lire :

	UFL(1) 1978	UFV (1) 1978
ensilage (coupe fine sans conservateur)	0,96	0,94
au lieu de :	0,96	0,93
ensilage (cas du direct sans conservateur).	0,87	0,82
Les valeurs UFL 1978 et UFV 1978	0,84	0,79
de l'ensilage sont les suivantes :	0,78	0,72
	0,77	0,70
(1) valeurs corrigées pour tenir compte de la	0,71	0,64
teneur en matière sèche à la mise en silo)	0,64	0,56
(INRA, 1978)		

* Page 71, colonne de gauche, ligne 5, lire : mais elle reste comprise entre 0,03 et 0,05 UFL OU UFV, au lieu de : mais elle n'est que de 0,03 UFL ou UFV.

VALEUR NUTRITIVE DES ALIMENTS CONCENTRES SIMPLES : TABLES ET PREVISION

* Page 83, tableau 6, titre, ajouter : les teneurs en cellulose brute, lignocellulose et protéines brutes sont exprimées en p. 100 de la MS.

* Page 88, annexe C2, dernière ligne, lire : 80°C au lieu de : 60° C

BESOINS EN LIPIDES DES RUMINANTS

* Page 92, figure 1, titre, ajouter : les surfaces hachurées représentent une estimation des acides gras provenant du tissu adipeux.

Figure 1, axe des ordonnées, lire : acides gras longs sécrétés au lieu de : acides gras sécrétés.

APPORTS RECOMMANDES EN ELEMENTS MINERAUX MAJEURS POUR LES RUMINANTS

* Page 109, colonne de droite, ligne 37, lire : N/kg MODR au lieu de : N/kg MOD. Ligne 42, lire : un effet positif de la supplémentation en soufre sur, au lieu de : un effet positif sur.

VARIATIONS DU CONTENU DIGESTIF ET DES RESERVES CORPORELLES AU COURS DU CYCLE GESTATION-LACTATION :

* Page 129, colonne de gauche, ligne 5, lire : est comprise entre 0,4 et 0,6 au lieu de : est aussi voisine de 0,6

RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LES VACHES LAITIERES

* Page 146, colonne de droite, lire : avec S_g = 0,38 (tableau 14) au lieu de S_g = 0,38 (tableau 13)
E = 0,94 (tableau 13) E = 0,94 (tableau 14)

Titres des tableaux 11, 12 et 13, lire : UFL/kg de matière sèche au lieu de UFL/kg de matière brute.

RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LES VACHES ALLAITANTES

* Page 160, colonne de gauche, ligne 17, lire : tableau 9 au lieu de : tableau 7

RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LES VEAUX ET GENISSES D'ELEVAGE

* Page 170, paragraphe 2, ligne 21, l'équation est : $(CI)^2 = - 17,1 + 0,227 (PV)$

* Page 171, colonne de gauche, ligne 10, lire : le développement squelettique a son maximum vers l'âge de 5-6 mois, au lieu de : le développement squelettique a son maximum à la naissance.

RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LES BOVINS EN CROISSANCE ET A L'ENGRAIS

* Page 175, colonne de droite, ligne 31, lire : NP au lieu de : N_p

* Page 177, colonne de gauche, ligne 6, l'équation est : $kc = 0,35 + 0,25 (1 - E_p)^{2,64}$

* Page 181, colonne de gauche, ligne 17, lire : (b voisin de 1) au lieu de (b = 1)

RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LES BREBIS A L'ENTRETIEN ET EN GESTATION

* Page 194, colonne de gauche, ligne 30, l'équation est : CI = 172 - 190 N + 19,1 PB + 64,6 PPN

* Page 195, colonne de gauche, ligne 10, lire : (F = 134) au lieu de (F = 1,34)

RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LES BREBIS EN LACTATION

* Page 206, tableau 9, titre, lire : déficit énergétique maximum toléré, au lieu de : déficit énergétique toléré.

Tableau 9, ligne "adulte, lactation courte, note d'état 2,5 à 3 ; variation maximale de la note d'état en 6 semaines : - 0,6", lire : 0,60 x BE ; 0,30 x BE ; 0,51 x BE ; au lieu de : 0,71 x BE ; 0,34 x BE ; 0,60 x BE - ligne suivante même correction

RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LES CAPRINS

* Page 216, colonne de gauche, les lignes 23 à 27 sont à remplacer par : "La valeur de 660 kcal correspondant à 38,5 UFL par kg de lait à 35 p. 1000 a été adoptée pour tenir compte des dernières données de composition notamment en protéines, et du fait qu'en 1978, nous avions une proportion importante de laits de début de lactation".

* Page 218, colonne de gauche, ligne 39, lire : la teneur en matières azotées fermentescibles, au lieu de : la teneur en azote fermentescible.

* Page 219, colonne de gauche, ligne 9, lire : 2,5 g au lieu de 12,5 g.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

ALIMENTATION DES RUMINANTS :

RÉVISION DES SYSTÈMES ET DES TABLES DE L'INRA

BULLETIN TECHNIQUE

Nº 70 - DECEMBRE 1987

C.R.Z.V. de Theix - 63122 CEYRAT - Tel. 73.62.40.00

Sommaire

Préface : Dix ans après
R. JARRIGE 7

Révision du système des Unités Fourragères (UF)
M. VERMOREL, J.B. COULON et M. JOURNET 9

Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI)
R. VERITE, Brigitte MICHALET-DOREAU, P. CHAPOUTOT, J.L. PEYRAUD et C. PONCET 19

Révision du système des Unités d'Encombrement (UE)
J.P. DULPHY, Ph. FAVERDIN, D. MICOL et F. BOCQUIER 35

Méthodes d'estimation des constituants pariétaux dans les aliments destinés aux ruminants.
Sylvie GIGER et Sylvie POCHET 49

Valeur nutritive des fourrages : tables et prévision
J. ANDRIEU et C. DEMARQUILLY 61

Valeur nutritive des aliments concentrés simples : tables et prévision
D. SAUVANT, Jocelyne AUFRERE, Brigitte MICHALET-DOREAU, Sylvie GIGER et P. CHAPOUTOT 75

Besoins en lipides des ruminants
M. DOREAU, Y. CHILLIARD, D. BAUCHART et P. MORAND-FEHR 91

Les acides aminés dans l'alimentation des ruminants
H. RULQUIN et C. CHAMPREDON 99

Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants
L. GUEGUEN, Michelle DURAND et F. MESCHY 105

Les besoins en oligo-éléments des ruminants
M. LAMAND 113

Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation
Y. CHILLIARD, B. REMOND, J. AGABRIEL, J. ROBELIN et R. VERITE 117

Recommandations alimentaires pour les vaches laitières
Ph. FAVERDIN, A. HODEN et J.B. COULON 133

Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes
J. AGABRIEL et M. PETIT 153

Recommandations alimentaires pour les veaux et génisses d'élevage
J.L. TROCCON 167

Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais
Y. GEAY, D. MICOL, J. ROBELIN, Ph. BERGE et C. MALTERRE 173

Recommandations alimentaires pour les brebis à l'entretien et en gestation
M. THERIEZ, F. BOCQUIER et A. BRELURUT 185

Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation
F. BOCQUIER, M. THERIEZ et A. BRELURUT 199

Recommandations alimentaires pour les caprins
P. MORAND-FEHR, D. SAUVANT et J. BRUN-BELLUT 213

A PARTIR DE 1988, LE BULLETIN TECHNIQUE DU C.R.Z.V. DE THEIX SE TRANSFORME EN

PRODUCTIONS ANIMALES

Nouvelle revue éditée par l'I.N.R.A. concernant l'ensemble des espèces animales

Abonnement 1988 à la revue "Productions animales"

N° 210920

(5 numéros/an ; 5 issues per year)

TARIF DE LANCEMENT POUR 1988 :

Par voie de surface :

France (sauf Corse, D.O.M.) ..... 200 F
Autres pays et T.O.M. ..... 275 F

Par avion :

Europe, Algérie, Maroc, Tunisie ..... 293 F
Afrique ..... 317 F
Amérique, Asie, Océanie ..... 359 F

NOM ou RAISON SOCIALE de l'organisme payeur :

Nombre d'abonnements demandés :

DESTINATAIRE (S) .....

Nom (Name) : .....

Organisme (Organization) : .....

Adresse (Adress) : ..... Pays : .....

Code postal (Zip code) : .....

Fourniture éventuelle des collections antérieures du Bulletin technique du CRZV de Theix (4 numéros par an) ☐

Paiement ci-joint (Enclosed payment) ☐

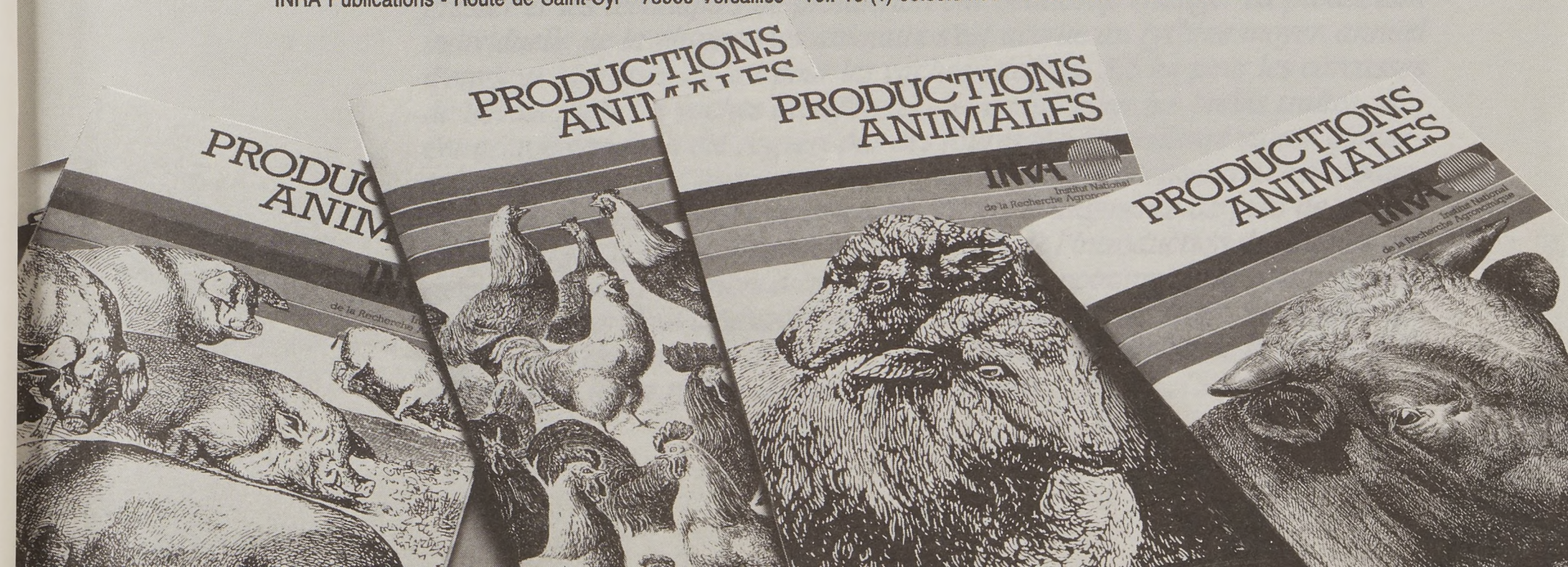
Règlement sur facture (Invoice requested) ☐

Paiement à l'ordre du Régisseur des Publications C.C.P. 9064-43 V - Paris
(Payment should be made to Régisseur des Publications)

Date : _____

Signature
(ou cachet)

Retournez ce bon de commande avec votre règlement à l'adresse suivante :
INRA Publications - Route de Saint-Cyr - 78000 Versailles - Tél. 16 (1) 30.83.34.06 - Télex : INRAPUB 699 368 F



Dix ans après

Voilà exactement dix ans que l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) publiait l'Alimentation des Ruminants. Cet ouvrage, le "Livre Rouge", avait quelque chose de révolutionnaire, et pas seulement par la couleur de sa couverture. Il mettait sous une forme utilisable dans la pratique les connaissances accumulées au cours des trois décennies précédentes. Le système des Unités Fourragères (UF), qu'avait enseigné et vulgarisé le Professeur A.M. Leroy, était rénové de fond en comble. Le système, entièrement nouveau, des protéines vraies réellement digestibles dans l'intestin grêle (PDI) permettait de raisonner les apports azotés sur la base de leur devenir dans le rumen. L'esquisse du système des Unités d'encombrement (UE) ouvrait enfin une voie à la prévision des quantités de fourrages ingérées. Des tables de la valeur nutritive des aliments et des apports alimentaires recommandés permettaient de calculer les rations pour chacune des nombreuses catégories (ô combien !) de ruminants exploités en France.

Du Livre Rouge furent tirés deux brochures pour le développement – la Pratique de l'alimentation des bovins (1981) par l'INRA, l'ITEB et les EDE et la Pratique de l'alimentation des caprins (1982) par l'ITOVIC – et un manuel, l'Alimentation des bovins (1984) préparé par un groupe d'enseignants.

Au cours des dix dernières années, les connaissances ont continué à progresser et les techniques de production ont beaucoup changé. La production individuelle de la plupart des animaux s'est accrue au rythme moyen annuel d'environ 100 litres de lait pour les vaches laitières, 3,5 kg pour les carcasses de bovins (hors les vaches de réforme), 5 l de lait pour les brebis traites, etc. Cet accroissement a été couvert par des fourrages de meilleure valeur alimentaire et par une plus grande consommation d'aliments concentrés. La production d'aliments composés pour les ruminants a augmenté de près de moitié, malgré un fléchissement temporaire à la suite de l'introduction des quotas laitiers. Elle utilise un nombre de matières premières, notamment de sous-produits, beaucoup plus élevé qu'auparavant. Les applications, de moins en moins onéreuses, de l'électronique et de la micro-informatique facilitent le calcul et la distribution de la ration d'aliments concentrés.

Il fallait donc mettre à jour et compléter les Systèmes et les Tables. Cette révision a été entreprise en 1985 par les chercheurs de Clermont-Ferrand-Theix, Rennes-Saint-Gilles, Paris-INA-PG et Jouy-en-Josas en tenant compte d'un sondage d'opinion réalisé en 1984 auprès d'une centaine de personnes représentatives de l'enseignement, du développement et des firmes de l'alimentation animale. Le dialogue s'est poursuivi au cours de trois réunions tenues sous l'égide de l'Association Française de Zootechnie en avril 1986, février et mars 1987. Au lieu d'une nouvelle édition du Livre Rouge, on a préparé deux ouvrages destinés à des publics différents :

- le présent numéro du Bulletin technique du CRZV de Theix rassemble les exposés présentés aux 17e Journées du Grenier de Theix (19-21 janvier 1988). On y trouvera les modalités des révisions effectuées (origine et analyse des données), les limites des nouvelles valeurs, ainsi que l'état des connaissances sur certains problèmes annexes,

- le livre sur l'Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins (pourquoi pas le Nouveau Livre Rouge ?) renferme les Tables de la valeur nutritive de quelques 700 aliments et des apports alimentaires recommandés. Elles sont accompagnées de commentaires axés plus particulièrement sur le calcul des rations et précédées d'un précis de la nutrition des ruminants.

Dans le même temps, un groupe de chercheurs de Clermont-Ferrand-Theix et de Rennes-Saint-Gilles a préparé un logiciel de référence (INRAtion) pour calculer les rations sur micro-ordinateur. C'est le moyen de choix pour tenir compte de nombreuses interactions entre constituants (énergie et azote) et entre aliments (fourrages et concentrés) au niveau de la digestion, plus particulièrement dans le rumen, du métabolisme et de l'ingestion. Divers facteurs de correction en ont été tirés pour continuer à calculer simplement des rations sur la base de l'additivité entre aliments. Des exemples détaillés sont donnés dans le livre pour chaque catégorie d'animaux. Cette méthode classique reste indispensable à la compréhension et à l'enseignement de l'alimentation des ruminants. C'est un préalable à l'utilisation réfléchie du calcul automatique.

Ce numéro 70 est le dernier Bulletin Technique du CRZV de Theix. Echec ? Que non ! Bien au contraire : préalable à une renaissance sous le titre de "Productions Animales". Cette nouvelle revue éditée par l'INRA, aura un champ beaucoup plus large que le Bulletin mais elle en conservera l'objectif et l'esprit, à savoir mettre les progrès des connaissances à la disposition des "utilisateurs". Que soient remerciés ici ceux qui ont fait vivre le Bulletin de Theix : M. Journet, G. Molenat, R. Pion et C. Valin à ses débuts, de 1970 à 1974, A. Hoden et C. Malterre pendant les treize années suivantes.

Que soient aussi remerciés Marie-Hélène Farce (éditrice de "Productions animales") assistée d'Eliane Rocher, sans lesquelles cet ultime numéro du Bulletin n'aurait pas été disponible à l'ouverture des 17e Journées du Grenier de Theix, ainsi que D. Micol, Elisabeth Grenet et Monique Barthomeuf pour l'organisation de ces Journées.

R. JARRIGE
INRA Theix

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 9-18

Révision du système des unités fourragères (UF)

M. VERMOREL, J.B. COULON * et M. JOURNET **

INRA-CRZV Theix, Laboratoire d'Etude du Métabolisme Energétique, 63122 Ceyrat.
** INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Lactation, 63122 Ceyrat.*
*** INRA-St Gilles, Département d'Elevage et de Nutrition des Herbivores, 35590 L'Hermitage.*

Le coût de l'alimentation dépend en grande partie de celui des apports d'énergie. Or, chez les ruminants ceux-ci peuvent être assurés par des aliments très divers selon la saison, la région... et les besoins des animaux. Il est donc nécessaire de connaître avec précision, d'une part la valeur énergétique réelle (énergie nette) des différents aliments disponibles, ainsi que les interactions entre les aliments au sein d'une ration et d'autre part les variations des besoins des différentes catégories de ruminants pour réaliser au mieux l'adéquation entre les apports et les besoins.

Le système des Unités Fourragères Lait (UFL) et des Unités Fourragères Viande (UFV) proposé en 1978 a fait ses preuves. Néanmoins, les connaissances acquises au cours des dix dernières années permettent d'affiner la précision de la valeur énergétique d'un certain nombre d'aliments (notamment des concentrés) et du rationnement. Cependant, les améliorations introduites ne modifient pas la structure du système et le mode d'expression de la valeur énergétique des aliments.

Comme en 1978, la valeur énergétique nette (EN) des aliments est calculée à partir de leur énergie brute (EB), de la digestibilité de l'énergie (dE), du rapport (EM/ED) entre l'énergie métabolisable (EM) et l'énergie digestible (ED) et des rendements (k) d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la lactation, l'entretien ou l'engraissement :

$$EN = EB \times dE \times \frac{EM}{ED} \times k$$

La valeur énergétique nette des aliments est toujours rapportée à celle de l'orge, aliment de référence (EN de l'aliment/EN de l'orge) et est exprimée en UFL pour la production laitière et en UFV pour la croissance intensive ou l'engraissement.

Les modifications apportées dans les différentes étapes du calcul de la valeur énergétique des aliments sont présentées ci-dessous.

I. Energie brute des aliments

L'énergie brute dépend de la composition chimique des aliments, en particulier des teneurs en matière organique, en lipides (9,5 kcal/g) et en protéines (5,7 kcal/g), l'énergie brute des glucides (amidon, cellulose, hémicelluloses...) étant voisine de 4,2 kcal/g. Elle a été déterminée directement pour la plupart des aliments et les résultats obtenus ont permis d'établir des équations de prévision de l'énergie brute (exprimée en kcal/kg de matière organique, MO) à partir de la composition chimique des aliments (CB, MAT, en g par kg de MO).

Dans le cas des **fourrages verts ou secs**, les relations établies en 1978 n'ont pas été modifiées et l'incertitude de la prévision est de ± 0,8 % (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987). En revanche, dans le cas des **ensilages d'herbe**, l'énergie brute n'est plus considérée comme égale à celle des fourrages verts de départ. Elle est estimée à partir de la teneur en matières azotées et du pH de l'ensilage à l'aide d'une relation établie avec 40 données obtenues au Rowett Research Institute (GB) en 1975, 1978 et 1984. Après correction des teneurs en MS pour les pertes de composés volatils au cours du séchage à l'étuve, l'énergie brute des ensilages d'herbe est supérieure à celle des fourrages verts correspondants, de 4,3 à 5,6 % dans le cas des ensilages directs et de 3 % dans le cas des ensilages préfanés (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987). Cette augmentation résulte des pertes de matière sèche sous forme de CO_2 au cours des fermentations sans perte sensible d'énergie brute. Elle tend à accroître la valeur énergétique nette des ensilages d'herbe par rapport à celle des fourrages verts correspondants.

L'énergie brute des **ensilages de maïs** a été déterminée sur 65 échantillons d'ensilage frais présentant une teneur moyenne en matière sèche (MS) de 36 % après correction pour les pertes de composés volatils et une teneur moyenne en grains de 41 % (VERMOREL, résultats non publiés). Elle s'élève en moyenne

à 4678 kcal par kg de MO. Cette valeur correspond à **une augmentation de 2,6 % par rapport à celle indiquée en 1978.**

Par ailleurs, la teneur en énergie brute de la plupart des **aliments concentrés** et d'un grand nombre de matières premières a été déterminée au cours des dix dernières années. Les valeurs moyennes obtenues pour chaque aliment sont utilisées dans les Tableaux de la Valeur Nutritive des Aliments.

II. Energie digestible des aliments

Comme précédemment, l'énergie digestible des aliments est calculée en faisant le produit de l'énergie brute par la digestibilité de l'énergie (dE). Cette dernière est déduite de la digestibilité de la matière organique (dMO), déterminée plus couramment, à l'aide de relations établies à partir des résultats obtenus sur moutons adultes.

La relation unique introduite en 1978 pour les fourrages a été remplacée par 5 relations établies respectivement pour 1) les fourrages verts de graminées et de légumineuses, 2) les foins de graminées et de légumineuses fourragères, 3) les pailles ordinaires ou traitées, 4) les ensilages de graminées ou de légumineuses fourragères et 5) les ensilages de maïs (ANDRIEU et DEMARQUILY, 1987). L'incertitude de l'estimation de dE à partir de dMO est comprise entre 0,6 et 0,8 point de digestibilité pour les 5 relations. Si les différences entre dMO et dE sont comparables à celles prévues précédemment pour les fourrages verts, elles sont un peu plus importantes pour les foins et les pailles, en raison de leur teneur élevée en lignine riche en énergie, et pour les ensilages d'herbe, mais un peu plus faibles pour les ensilages de maïs, ce qui contribue à accroître leur valeur énergétique nette par rapport à celle des autres fourrages.

Dans le cas des aliments concentrés, les valeurs de dMO et dE obtenues au cours des 10 dernières années pour les différents aliments ont été utilisées pour l'établissement des Tableaux de la Valeur Nutritive des Aliments. Les différences entre dMO et dE sont beaucoup plus variables que celles prévues en 1978 (SAUVANT *et al.*, 1987). Pour les céréales et les issues de meunerie dE est inférieure de 2,6 points à dMO (contre 1,3 point en 1978), ce qui diminue d'environ 1,5 % leur valeur énergétique. Les différences «dMO-dE» sont très variables dans le cas des tourteaux et en moyenne inférieures à la correction utilisée depuis 1978, ce qui entraîne une augmentation appréciable de leur valeur énergétique (tableau 1). Pour l'ensemble des aliments concentrés, la différence entre dMO et dE est en moyenne de 1,6 point ; c'est cette correction qui est appliquée aux matières premières pour lesquelles on ne dispose pas de données sûres.

III. Energie métabolisable

L'énergie métabolisable (EM) est le contenu en énergie de l'aliment qui est théoriquement utilisable (métabolisable) par les tissus de l'animal. Elle correspond à l'énergie digestible diminuée des pertes d'énergie sous forme de méthane (EG) et par l'urine (Eu) :

$$EM = ED - EG - Eu \quad \text{ou} \quad EM = EB - (EF + EG + Eu)$$

L'énergie métabolisable est une base commune pour l'estimation de la valeur énergétique nette des aliments pour la production laitière ou pour la production de viande, donc une étape importante dans l'estimation de la valeur énergétique des aliments.

Cependant, les pertes d'énergie sous forme de méthane et dans l'urine dépendent non seulement de la composition chimique de l'aliment considéré, mais aussi de la constitution de la ration, du niveau d'alimentation et de l'état physiologique des animaux. On a donc établi une relation permettant de calculer le rapport (EM/ED) entre les teneurs en énergie métabolisable et en énergie digestible des aliments ou des rations à partir de leur composition chimique et du niveau d'alimentation (VERMOREL et AGABRIEL, non publié).

$$EM/ED = 0{,}8417 - 9{,}9 \times 10^{-5}\, CB_0 - 1{,}96 \times 10^{-4}\, MAT_0 + 0{,}0221\, NA \pm 0{,}0087 \qquad r = 0{,}932$$

Les teneurs en cellulose brute et en matières azotées (CB_0 et MAT_0) ont été exprimées en g par kg de MO, par souci d'homogénéité avec les relations de prévision de l'énergie brute et de la digestibilité des aliments. Le niveau d'alimentation (NA) est le rapport entre la quantité d'énergie métabolisable ou de matière organique digestible ingérée et la quantité nécessaire pour l'entretien.

Cette relation repose sur 346 données obtenues chacune sur des groupes de 4 à 8 animaux, à l'étranger ou en France : 42 données sur moutons recevant du foin seul, 143 données sur moutons recevant des régimes composés de foin et d'aliments concentrés et 162 données obtenues sur des vaches recevant des rations comportant moins de 50 % d'aliment concentré. La teneur en CB des rations varie de 130 à 410 g/kg MS (moyenne : 243 g), la teneur en MAT de 86 à 330 g/kg MS (moyenne : 166 g) et le niveau d'alimentation de 0,8 à 3,9 fois le besoin d'entretien (moyenne : 1,95). Les coefficients correspondant à la cellulose brute et aux matières azotées sont un peu plus élevés que dans la relation proposée en 1978, mais le coefficient correspondant au niveau de l'alimentation est plus faible (2,21 contre 2,43).

Cette relation est un peu plus précise que celle utilisée en 1978. Elle a été testée avec 17 rations constituées de 40 % de foin et 60 % d'aliments composés très divers et distribuées à des groupes de 6 moutons. La différence entre les valeurs obtenues en chambres respiratoires à l'INRA et celles prévues par la relation EM/ED est en moyenne inférieure de 0,1 % en valeur relative pour les 17 aliments composés, ce qui confirme la validité de cette relation pour les aliments concentrés.

La teneur en EM des aliments a été calculée à l'aide de cette relation. Pour les fourrages, on a utilisé le niveau d'alimentation observé avec les moutons alimentés ad libitum ; le rapport EM/ED est peu modifié sauf dans le cas des fourrages verts récoltés précocément et qui présentent un niveau d'alimentation élevé. En revanche, dans le cas des aliments concentrés, le niveau d'alimentation retenu a été de 1,2 (et non pas 1,7 comme en 1978) car la plupart des mesures de digestibilité se fait maintenant à un niveau d'alimentation voisin de l'entretien pour limiter les interactions entre les aliments. Le rapport EM/ED est, en valeur relative, inférieur de 0,8 % pour les céréales et de 2 % pour les tourteaux par rapport aux valeurs prévues par la relation utilisée en 1978.

IV. Energie nette des aliments

L'énergie nette (EN) est le contenu énergétique de l'aliment qui contribue à couvrir les dépenses d'entretien et de production des animaux. Elle correspond à l'énergie métabolisable (EM) diminuée des pertes d'énergie sous forme de chaleur (Q) produite au cours de l'ingestion, de la digestion et de l'utilisation métabolique des produits finaux de la digestion

$$EN = EM - Q \qquad k = \frac{EN}{EM} \qquad EN = k \times EM$$

Le rendement k d'utilisation de l'énergie métabolisable varie d'une part avec les proportions des produits finaux de la digestion et d'autre part avec la fonction pour laquelle ils sont utilisés (entretien, engraissement, lactation).

1. Energie nette des aliments pour la production laitière

Les études réalisées au cours des 10 dernières années en Allemagne Fédérale, aux Etats-Unis, en France et aux Pays-Bas avec des vaches laitières fortes productrices en début ou en milieu de lactation ont confirmé les valeurs obtenues précédemment pour le rendement kl d'utilisation de l'EM (voisin de 60 %), pour le rendement krl d'utilisation des réserves corporelles pour la lactation (voisin de 80 %) et pour le besoin d'entretien (voisin de 117 kcal d'EM par kg de poids métabolique, $P^{0,75}$). Les valeurs des rendements kl et krl ont été également retrouvées chez la brebis laitière en début de lactation.

Il n'y a donc pas de modification dans le calcul de la valeur énergétique nette (ENL) des aliments pour la lactation :

$$ENL = EM \times [0{,}60 + 0{,}24\ (q - 0{,}57)]$$

ou

$$ENL = EM\ (0{,}463 + 0{,}249\ q)$$

$q = \frac{EM}{EB}$ étant la concentration en EM de l'aliment.

Il faut souligner cependant que le rendement kl a été déterminé seulement avec des femelles laitières recevant des rations suffisamment riches (dMO $\geq$ 70 %) pour satisfaire leurs besoins. La relation précédente est extrapolée aux fourrages plus pauvres distribués aux vaches et aux brebis allaitantes, en raison du manque de données expérimentales. En effet, la détermination précise du rendement kl d'utilisation de l'EM de ces aliments est délicate en raison du faible niveau de production laitière des animaux. Cette extrapolation entraîne une incertitude plus grande dans la prévision de la valeur énergétique nette des fourrages de qualité moyenne ou médiocre.

2. Energie nette des aliments pour la production de viande

Chez les animaux en croissance ou à l'engrais, l'énergie métabolisable est utilisée simultanément pour l'entretien avec un rendement km (voisin de 72 % et peu variable) et pour l'engraissement avec un rendement kf (plus faible et variant de 30 à 56 % selon les aliments). Il faut donc tenir compte du rendement global (kmf) d'utilisation de l'EM pour l'entretien et pour la production :

$$EN\ entretien + EN\ production = EM \times kmf, \qquad \text{d'où}$$

$$kmf = \frac{EN\ entretien + EN\ production}{EM}$$

Au cours des dix dernières années, il n'y a pas eu de recherches spécifiques sur les variations des rendements d'utilisation de l'EM des aliments pour l'entretien (km) et pour l'engraissement (kf). Les relations utilisées en 1978 sont donc conservées :

$$km = 0{,}287\ q + 0{,}554 \qquad kf = 0{,}78\ q + 0{,}006$$

$$\text{avec } q = \frac{EM}{EB}$$

Par ailleurs, les résultats obtenus sur le métabolisme énergétique des ruminants en croissance confirment les premières observations (GEAY *et al.*, 1978) montrant que le rendement (kpf) d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la croissance augmente avec la proportion d'énergie fixée sous forme de lipides. Toutefois, les données sont encore insuffisantes pour pouvoir établir une relation multiple fiable et précise entre le rendement d'utilisation de l'énergie pour la croissance, la composition chimique des aliments et la composition chimique du gain de poids. Cependant, pour un type d'animal donné, le rapport kpf/kf est relativement constant quelle que soit la composition de la ration (GEAY, 1984). Par suite, les aliments ont la même valeur relative pour la croissance et pour l'engraissement. En conséquence, on conserve le rendement global (kmf) d'utilisation de l'EM pour l'entretien et l'engraissement pour calculer l'énergie nette des aliments pour l'entretien et la production de viande.

Le rendement global (kmf) d'utilisation de l'énergie métabolisable dépend des proportions relatives de l'énergie nette d'entretien et de l'énergie nette de production dans l'énergie nette totale de l'aliment. Il est donc fonction du niveau de production (NP) de l'animal :

$$NP = \frac{EN\ entretien + EN\ production}{EN\ entretien}$$

Les résultats obtenus à l'INRA avant 1978 montraient que chez les bovins en croissance intensive ou à l'engrais, l'énergie nette d'entretien représentait de 60 à 75 % (en moyenne 67 %) de l'énergie nette de l'aliment, ce qui correspond à un niveau de production de 1,5. Les mesures effectuées depuis confirment ces valeurs ; on a donc conservé le niveau de production 1,5 pour calculer le rendement global (kmf) d'utilisation de l'énergie métabolisable et l'énergie nette d'entretien et de production de viande (ENEV) :

$$ENEV = EM \times kmf \qquad kmf = \frac{km \times kf \times 1{,}5}{kf + 0{,}5\ km}$$

ou

$$kmf = \frac{0{,}3358\ q^2 + 0{,}6508\ q + 0{,}005}{0{,}9235\ q + 0{,}2830}$$

En résumé, il n'y a pas de modification dans le calcul des teneurs en ENL et ENEV des aliments à partir de l'EM par rapport à la méthode introduite en 1978.

V. Valeurs énergétiques des aliments : UFL et UFV

Les teneurs en énergie nette des aliments sont rapportées à celles de l'orge de référence et exprimées en Unité Fourragère Lait (UFL) et en Unité Fourragère Viande (UFV) :

$$\text{Valeur UFL} = \frac{\text{ENL de l'aliment}}{\text{ENL de l'orge}}$$

$$\text{Valeur UFV} = \frac{\text{ENEV de l'aliment}}{\text{ENEV de l'orge}}$$

1. L'Unité Fourragère Lait (UFL) et l'Unité Fourragère Viande (UFV)

L'UFL est la quantité d'énergie nette apportée par un kg d'orge de référence distribué au-dessus de l'entretien à une vache en lactation. Cette énergie est exportée dans le supplément de lait produit ou fixée dans l'organisme de la vache.

L'UFV est la quantité d'énergie nette apportée par un kg d'orge de référence pour l'entretien et la production chez un animal à l'engrais ayant un niveau de production de 1,5.

Il n'y a donc pas de modification dans les définitions introduites en 1978. Cependant, la composition chimique et les caractéristiques de l'orge de référence ont légèrement changé. Elles correspondent à la composition moyenne des échantillons d'orge analysés au cours des dix dernières années : teneur en MS, 87 % ; cellulose brute : 4,36 % ; matières azotées : 10,50 % ; extrait éthéré : 1,93 % ; dMO : 86,0 % ; dE : 83,7 %.

	Calcul de l'UFL	Calcul de l'UFV
Energie brute (EB, kcal/kg)	3850	3850
Energie digestible (ED = EB × 0,837)	3222	3222
EM (EM/ED = 0,839)	2702	2702
ENL = EM × 0,632	1708	
km = 0,7555 kf = 0,5536 kmf = 0,6736		
ENEV = EM × 0,6736		1821

Par souci de simplification, les valeurs ont été arrondies :

1 UFL = 1700 kcal ENL
1 UFV = 1820 kcal ENEV

Les valeurs énergétiques nettes de l'orge sont inférieures de 2 % environ à celles données en 1978 (1730 et 1855 kcal), en raison de la digestibilité inférieure de l'énergie (0,837 contre 0,847) et du rapport EM/ED plus faible (0,839 contre 0,845) par suite du niveau d'alimentation choisi (1,2 au lieu de 1,7).

Les valeurs énergétiques des aliments pour la production laitière (UFL) et pour la production de viande (UFV) se calculent ainsi :

$$\text{Valeur UFL} = \frac{\text{EM} \times \text{kl}}{1700}$$

$$\text{Valeur UFV} = \frac{\text{EM} \times \text{kmf}}{1820}$$

Comme précédemment, au sein d'un système donné (UFL ou UFV), les apports énergétiques des différents aliments s'additionnent pour les calculs de rationnement.

2. Modifications des valeurs énergétiques (UFL et UFV) des aliments

Les modifications apportées aux valeurs UFL et UFV de l'orge de référence, d'une part, et les variations des teneurs en énergie brute et de la digestibilité de l'énergie de certains aliments, ainsi que la modification de la relation EM/ED, d'autre part, ont un certain nombre de conséquences sur les valeurs énergétiques des aliments (tableau 1) :

— celles des fourrages verts et des foins sont peu modifiées (de −0,01 à +0,02 UF/kg MS), les diminutions de la digestibilité de l'énergie et du rapport EM/ED étant partiellement compensées par les réductions des valeurs énergétiques de l'orge. L'augmentation de la valeur énergétique (de 0 à +0,03 UF/kg MS) est plus importante dans le cas des ensilages d'herbe, en raison de l'accroissement de 4 à 5 % de l'énergie brute (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987) ;

— la valeur UFL de l'**ensilage de maïs** est fortement accrue (+0,05 UFL/kg MS) en raison des augmentations de l'énergie brute (+2,6 %), de la digestibilité de l'énergie (+0,7 %) et du rapport EM/ED (+0,6 %) et de la diminution (2 %) des valeurs énergétiques nettes de l'orge. En revanche, la valeur UFV de l'ensilage de maïs a été peu augmentée car on a diminué sa valeur potentielle pour tenir compte des interactions digestives négatives avec les aliments concentrés, en raison de sa teneur élevée en grains (cf. paragraphe VII) ;

— dans le cas des **betteraves**, l'augmentation considérable des valeurs UFL et UFV (+0,16 à 0,18 UF) s'explique par le fait qu'on a considéré que le sucre n'avait pas d'effet dépressif sur l'utilisation de la ration lorsque les betteraves sont distribuées en quantité limitée. En revanche, lorsque les betteraves représentent une part importante de la ration, leur valeur énergétique est voisine de 1,00 UF par kg de matière sèche (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987) ;

— les valeurs UFL et UFV des céréales sont très peu modifiées parce que les corrections appliquées à la digestibilité de l'énergie et au rapport EM/ED sont à peu près les mêmes que pour l'orge ;

— enfin, dans le cas des coproduits industriels (issues de meunerie, tourteaux...), les écarts parfois importants par rapport aux données de 1978 proviennent soit des différences aux niveaux de l'énergie brute (son gros de blé, tourteau de soja...), soit de la différence entre les digestibilités de la matière organique et de l'énergie (sons, tourteaux...) et de la diminution du rapport EM/ED (SAUVANT *et al.*, 1987).

3. Prévision de la valeur énergétique des aliments composés

Les équations de prévision proposées en 1978 et en 1981 avaient été établies à partir des valeurs UFL et UFV de 61 aliments concentrés simples, en supposant que la valeur énergétique

TABLEAU 1

Valeurs énergétiques (UFL et UFV par kg de matière sèche) de quelques aliments ; comparaison des valeurs indiquées en 1978 et 1988

			UFL			UFV		
			1978	1988		1978	1988	
FOURRAGES VERTS								
Prairie permanente de plaine - 1er cycle	déprimage		1,02	1,01	- 0,01	0,99	0,98	- 0,01
	fin floraison		0,58	0,60	+ 0,02	0,48	0,50	+ 0,02
Ray-grass d'Italie 1er cycle	feuillu		0,99	0,99	0	0,97	0,96	- 0,01
	floraison		0,64	0,66	+ 0,02	0,56	0,58	+ 0,02
Luzerne 1er cycle	végétatif, 30 cm		0,97	0,96	- 0,01	0,92	0,92	0
	floraison		0,67	0,69	+ 0,02	0,58	0,59	+ 0,01
FOINS								
Prairie permanente de plaine 1er cycle	Début	ventilé	0,79	0,80	+ 0,01	0,72	0,72	0
	Epiaison	fané, pluie	0,70	0,71	+ 0,01	0,62	0,62	0
	Floraison	ventilé	0,62	0,63	+ 0,01	0,52	0,53	+ 0,01
		fané, pluie	0,57	0,58	+ 0,01	0,47	0,48	+ 0,01
Ray-grass d'Italie 1er cycle	Epiaison	ventilé	0,73	0,74	+ 0,01	0,66	0,66	0
		fané, pluie	0,65	0,66	+ 0,01	0,57	0,57	0
	Floraison	ventilé	0,60	0,61	+ 0,01	0,51	0,52	+ 0,01
		fané, pluie	0,56	0,57	+ 0,01	0,46	0,47	+ 0,01
Luzerne 1er cycle	Bourgeonnement	ventilé	0,68	0,68	0	0,59	0,59	0
		fané, pluie	0,59	0,60	+ 0,01	0,49	0,49	0
	Floraison	ventilé	0,62	0,63	+ 0,01	0,53	0,53	0
		fané, pluie	0,54	0,55	+ 0,01	0,43	0,44	+ 0,01
ENSILAGES								
Prairie permanente de plaine, 1er cycle, brins courts, avec conservateur	Début épiaison		0,88	0,89	+ 0,01	0,82	0,83	+ 0,01
	Epiaison		0,78	0,80	+ 0,02	0,70	0,70	0
Rays-grass d'Italie, 1er cycle brins courts, avec conservateur	Début épiaison		0,86	0,89	+ 0,03	0,81	0,83	+ 0,02
	fin épiaison		0,77	0,80	+ 0,03	0,70	0,73	+ 0,03
Luzerne, 1er cycle	Bourgeonnement		0,76	0,77	+ 0,01	0,68	0,68	0
Maïs, plante entière, plus de 28 % de MS			0,85	0,90	+ 0,05	0,79	0,80	+ 0,01
Betteraves fourragères riches en MS	Quantité limitée		0,96	1,12	+ 0,16	0,96	1,14	+ 0,18
	Quantités élevées		0,96	1,00	+ 0,04	0,96	1,00	+ 0,04
Pulpes de betteraves			0,99	1,01	+ 0,02	0,97	0,99	+ 0,02
CEREALES ET COPRODUITS								
Maïs			1,27	1,27	0	1,28	1,29	+ 0,01
Blé			1,21	1,19	- 0,02	1,23	1,20	- 0,03
Sorgho			1,18	1,18	0	1,18	1,18	0
Son gros de blé			0,89	0,84	- 0,05	0,82	0,77	- 0,05
Son fin de blé			0,94	0,90	- 0,04	0,88	0,84	- 0,04
Remoulage blanc de blé			1,19	1,16	- 0,03	1,18	1,14	- 0,04
Glutenfeed			1,10	1,16	+ 0,06	1,08	1,15	+ 0,07
TOURTEAUX								
Tourteau d'arachide 50			1,06	1,12	+ 0,06	1,01	1,09	+ 0,08
Tourteau de soja 50			1,20	1,16	- 0,04	1,19	1,14	- 0,05
Tourteau de colza 35			0,94	0,96	+ 0,02	0,87	0,90	+ 0,03

d'un aliment composé est égale à la moyenne pondérée des valeurs énergétiques (lues dans les Tables) des aliments concentrés qui le composent.

En 1986 et 1987, une étude spécifique a été réalisée à l'INRA de Theix (C. DEMARQUILLY et M. VERMOREL, résultats non publiés) pour mesurer sur des moutons adultes la digestibilité des différents constituants et la teneur en énergie métabolisable de 17 aliments composés du commerce, de composition très variable, fournis par diverses firmes françaises (1). Ces données ont été complétées par des résultats analogues obtenus sur 24 aliments composés par les chercheurs du Rowett Research Institute (GB 1) qui nous ont adressé des échantillons de ces aliments. Les valeurs UFL et UFV de ces 41 aliments composés ont été calculées à partir de leurs teneurs en énergie métabolisable et de leurs concentrations en EM (q = EM/EB) mesurées et des rendements kl et kmf correspondants.

Sur ces échantillons, ont été effectuées les analyses chimiques complètes et des mesures de dégradabilité enzymatique pour déterminer les meilleurs critères de prévision de l'énergie métabolisable et des valeurs UFL et UFV. Par ailleurs, les mêmes analyses ont été réalisées sur 42 échantillons d'aliments composés dont les digestibilités de la matière organique et de l'énergie avaient été déterminées à l'INA-PG et à l'Institut IVVO de Lelystad (Pays-Bas).

Les équations de prévision de l'énergie métabolisable et des valeurs UFL et UFV des aliments composés sont en cours d'élaboration. Elles seront présentées par D. SAUVANT *et al.* au cours de ces journées et publiées très prochainement.

VI. Besoins et apports énergétiques recommandés

Les besoins et apports énergétiques recommandés sont exprimés dans les mêmes unités que les valeurs énergétiques des aliments, c'est-à-dire :

— en **UFL** pour les femelles (vaches, chèvres, brebis) en lactation, gestantes ou taries, pour les femelles d'élevage (génisses, chevrettes, agnelles), pour les mâles au voisinage de l'entretien (reproducteurs) et les sujets réalisant une croissance lente ou modérée (hivernage...) car 80 à 85 % de leurs dépenses correspondent à l'entretien ;

— en **UFV** pour les animaux en croissance intensive ou à l'engrais (agneaux de boucherie, taurillons, bouvillons, génisses de races à viande et bœufs à l'engrais).

1. Femelles laitières

Les données obtenues en chambres respiratoires et vérifiées par les essais d'alimentation montrent que le besoin d'entretien de la vache laitière est en moyenne de 117 kcal d'EM ou, plus précisément, 70 kcal d'ENL par kg de poids métabolique ($P^{0,75}$). Pour une vache de 600 kg, le besoin d'entretien est de : 70 × 121,2 = 8484 kcal d'ENL soit 8484/1700 = 4,99 UFL, valeur arrondie à 5,0 UFL par jour.

Le besoin d'entretien de la vache laitière peut être calculé directement à partir du poids vif (P) à l'aide de la relation suivante :

$$\textbf{Besoin d'entretien (UFL)} = 1{,}4 + 0{,}6\,\frac{P}{100}$$

Il n'y a donc pas de modification pour l'entretien par rapport aux recommandations de 1978. Le besoin d'entretien est également augmenté de 10 % pour les vaches en stabulation libre et de 20 % pour les vaches au pâturage.

En revanche, le besoin correspondant à la sécrétion lactée a été légèrement modifié. En effet, les statistiques récentes du contrôle laitier montrent qu'en moyenne le lait de référence à 4 % de matières grasses ne contient que 31 g de protéines par kg. Cette teneur conduit à une énergie brute de 740 kcal par kg de lait à 4 % de matières grasses, valeur en accord avec les données allemandes, américaines, hollandaises et norvégiennes. En conséquence, le besoin énergétique par kg de lait à 4 % de matières grasses est de 740/1700 = 0,435 UFL. Cette valeur est arrondie à **0,44 UFL par kg de lait à 4 % de matières grasses** pour tenir compte des laits plus riches en protéines (33 g/kg) comme celui des vaches des races Pie-Rouge ou Normande.

Le besoin énergétique par kg de lait doit être ajusté pour tenir compte de la composition du lait, à l'aide de la relation suivante :

Besoin de production (UFL/kg) = 0,44 (0,4 + 0,15 TB)
(TB = taux butyreux du lait, en %)

En début de lactation, lorsque la vache est en bilan énergétique négatif, la quantité d'énergie corporelle mobilisée est en moyenne de 7500 kcal par kg de perte de masse corporelle. Cette énergie est utilisée avec un rendement voisin de 80 %, ce qui correspond à un apport de 7500 × 0,8 = 6000 kcal d'énergie nette lait ou 6000/1700 = **3,5 UFL par kg de perte de masse corporelle**.

Lorsque la vache reconstitue ses réserves corporelles, la quantité d'énergie fixée dans l'organisme est également en moyenne de 7500 kcal par kg de gain de masse corporelle (CHILLIARD *et al.*, 1987). Le besoin énergétique pour la reconstitution des réserves corporelles est donc de :

7500/1700 ≃ **4,5 UFL par kg de gain de masse corporelle**

En raison de l'absence de données nouvelles permettant éventuellement de préciser ces valeurs, les besoins correspondant à la gestation n'ont pas été modifiés :

Besoins de gestation de la vache :
7e mois : 0,9 UFL, 8e mois : 1,6 UFL, 9e mois : 2,6 UFL

Les apports énergétiques recommandés pour les femelles en lactation sont présentés par FAVERDIN *et al.* (1987), AGABRIEL et PETIT (1987), BOCQUIER *et al.* (1987), MORANDFEHR *et al.* (1987), pour les vaches laitières, les vaches allaitantes, les brebis et les chèvres, respectivement.

(1) Nous remercions pour leur collaboration le Dr LIVINGSTONE (Rowett Research Institute, GB) et le Dr STEG (IVVO, Lelystad, Pays-Bas) qui nous ont obligeamment communiqué les résultats de leurs études et les échantillons correspondants, ainsi que les sociétés GANNAT-ANCENIS, SABAROT, SANDERS, UCAAB et UFAC, qui nous ont fourni les aliments composés étudiés à l'INRA de Theix.

2. Animaux en croissance ou à l'engrais

Dans le cas des bovins en croissance de plus de 150 kg, les apports énergétiques recommandés ont été calculés non plus par une méthode globale comme en 1978, mais par une méthode analytique en tenant compte du besoin d'entretien et des quantités d'énergie fixées par les animaux, déterminées après abattage, dissection et analyse des tissus (GEAY *et al.*, 1987).

En revanche, pour les ruminants de moins de 150 kg et pour les agneaux de boucherie, les chevreaux et les femelles d'élevage, on ne disposait pas de données aussi complètes sur les besoins d'entretien et les quantités d'énergie fixées pour pouvoir utiliser les mêmes méthodes. Les apports énergétiques totaux recommandés ont été déterminés à partir des résultats d'essais d'alimentation en utilisant les nouvelles valeurs énergétiques (UFL ou UFV) des aliments.

VII. Interactions entre les aliments au sein d'une ration

1. Nature et importance du phénomène

La valeur énergétique des fourrages a été généralement déterminée chez des moutons adultes alimentés ad libitum, à un niveau d'alimentation moyen de 1,7 (compris entre 0,75 pour les foins de mauvaise qualité et 2,7 pour les fourrages verts en début de croissance). Cependant, les fourrages ne sont pas distribués seuls aux ruminants en production intensive (femelles laitières, animaux à l'engrais). Ils sont généralement complémentés par des aliments concentrés, en quantité d'autant plus importante que les fourrages sont de mauvaise qualité. De plus, le niveau d'alimentation est souvent de l'ordre de 2,5 pour les bovins à l'engrais et peut dépasser 4 pour les vaches produisant plus de 35 kg de lait par jour.

L'apport énergétique réel de la ration est ainsi souvent inférieur à la somme des apports de chacun des aliments. En effet, l'activité cellulolytique de la flore du rumen est généralement réduite par l'apport d'aliments concentrés, surtout s'ils sont riches en amidon, et la digestibilité des parois des fourrages est diminuée. Le phénomène est d'autant plus important que les fourrages sont plus âgés et plus lignifiés, et que l'apport de concentré est plus élevé (DULPHY *et al.*, 1983, 1987). De plus, il est amplifié par l'accroissement du niveau d'alimentation qui provoque une accélération du transit des aliments dans le tube digestif, entraînant une réduction de la digestion fermentaire des parois végétales (DOREAU et REMOND, 1983). La digestibilité de la ration est ainsi inférieure à la moyenne pondérée de celles des aliments qui la composent (tableau 2). Cette réduction de la digestibilité n'est que partiellement compensée par la réduction des pertes d'énergie sous forme de méthane et dans l'urine. L'apport réel d'énergie métabolisable est donc également inférieur à l'apport théorique des aliments de la ration (tableau 2).

TABLEAU 2

Exemples d'interaction entre les aliments concentrés et les fourrages, combinée avec les effets de l'augmentation du niveau d'alimentation : différences relatives entre les digestibilités de l'énergie (Δ dE %) et les teneurs en énergie métabolisable (Δ EM %) obtenues expérimentalement et les valeurs calculées (rations distribuées à 95 % de ad libitum ; NA : niveau d'alimentation)

ANIMAUX	RATIONS		NA	Δ dE	Δ EM
MOUTONS (1)	Foin 60 % + maïs (40 %)		1,77	- 5,5 %	- 4,0 %
	Foin 40 % + maïs (60 %)		1,80	- 7,3 %	- 4,3 %
MOUTONS (2)	Paille traitée 50 %	concentré (maïs) 50 %	2,12	- 15,0 %	- 9,0 %
		pulpes betteraves 50 %	2,07	- 6,2 %	- 4,6 %
VACHES LAITIERES (3) (4)	foin (36 %) ; ensilage (64 %)		3,2	- 10,3 %	- 6,4 %
	Ensilage de maïs : 65 % ; Concentré : 35 %		3,0	- 10,4 %	- 6,5 %

REFERENCES :
(1) BLAXTER et WAINMAN, 1964
(2) VERMOREL, DULPHY et VERNET, 1987
(3) VAN der HONING et al., 1981
(4) VERMOREL et al. (1978-1985) (moyennes de 5 expériences).

Enfin, on ignore encore les conséquences exactes des modifications de la digestion dans le rumen et l'intestin, dues aux associations d'aliments, sur l'apport d'énergie nette de la ration. En effet, les modifications des proportions des produits terminaux de la digestion peuvent influencer à la fois l'efficacité de l'utilisation de l'énergie métabolisable pour les différentes fonctions (entretien, lactation, engraissement) et l'orientation du métabolisme vers la sécrétion lactée, la protéinogénèse ou la lipogénèse.

2. Détermination des interactions entre les aliments

Pour déterminer les effets totaux des interactions digestives et métaboliques sur les apports d'énergie nette des rations, on a calculé les différences (dAB) entre les apports énergétiques théoriques (en UFL) des rations et les besoins des animaux évalués à partir de leurs performances. Ces différences ont été analysées en fonction de la nature des fourrages, du pourcentage de concentré, de la nature des glucides de la ration et du niveau d'alimentation.

Dans le cas des vaches laitières, les interactions liées au pourcentage de concentré dans la ration ont été calculées à partir des résultats de 50 essais d'alimentation réalisés au Canada, aux Etats-Unis, en France (16), en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas et en Suède. Dans chaque essai, 2 ou 3 niveaux d'apport d'un même type d'aliment concentré (généralement à base de céréales) étaient comparés. Les lots comportaient de 6 à 60 vaches en milieu de lactation présentant une production moyenne de 20,6 kg de lait et un gain de poids vif moyen de 160 g par jour. Les animaux recevaient des rations mixtes à base de foin (16 rations), d'ensilage d'herbe (20 rations) ou d'ensilage de maïs (14 rations) comportant de 0 à 50 % de concentré.

Les besoins réels en UFL des animaux ont été calculés en tenant compte de leur poids, de leur variation de poids, de leur production laitière et de la composition du lait. Ils ont été comparés aux apports théoriques en UFL des rations calculés à l'aide des Tableaux révisés de la Valeur Nutritive des Aliments. Pour déterminer les effets propres du pourcentage de concentré, les différences observées entre les apports et les besoins en UFL ont toutes été ramenées à un niveau d'alimentation commun de 1,7 en considérant qu'une augmentation de 1 point du niveau d'alimentation entraînait une diminution de 1 % des apports alimentaires en UFL.

Pour chaque essai d'alimentation, les différences «Apports-Besoins» (dAB) ont été rapportées à l'augmentation de la proportion de concentré (dC) d'un lot à l'autre (dAB/dC). De cette manière, les imprécisions dans la prévision des valeurs UFL des aliments ont eu peu d'influence sur l'interaction calculée. On a ensuite établi pour chaque type de fourrage (foin, ensilage d'herbe, ensilage de maïs), des relations entre les différences dAB/dC (en UFL pour une augmentation de 0,1 de la proportion de concentré) et la proportion moyenne d'aliment concentré dans les rations (C, compris entre 0 et 0,5). Bien que les rations à base d'ensilage de maïs conduisent à des interactions un peu supérieures à celles obtenues avec les autres rations, les différences entre les 3 types de rations ne sont pas significatives. On a donc calculé une relation pour l'ensemble des rations :

$$dAB/dC = -0{,}323 + 2{,}35\,C \pm 0{,}297 \qquad R = 0{,}65 \qquad N = 50$$

Ensuite, en faisant l'hypothèse qu'il n'y a pas d'interaction pour des rations comprenant de 0 à 10 % d'aliment concentré, on a calculé la relation donnant l'évolution de la différence entre les apports théoriques et les besoins (dAB, en UFL) en fonction de la proportion de concentré dans la ration (C, compris entre 0 et 0,5) :

$$dAB = 11{,}75\,C^2 - 3{,}23\,C + 0{,}205$$

La validité de cette relation a été contrôlée à l'aide des résultats de 71 essais d'alimentation réalisés à l'INRA : 16 rations à base de foin, 17 à base d'ensilage de maïs et 38 à base d'ensilage d'herbe, comportant de 5 à 44 % d'aliment concentré (25 % en moyenne). Les lots comptaient une dizaine de vaches en milieu de lactation, produisant en moyenne 20,5 kg de lait à 4 % de matières grasses. Ces données ont permis d'ajuster et de simplifier la relation générale précédente.

En définitive, l'interaction totale E (différence entre les apports énergétiques théoriques et les apports réels, exprimés en UFL) tenant compte du pourcentage de concentré dans la ration et du niveau alimentaire des vaches, peut être correctement estimée, quel que soit le type de ration de base, à l'aide de la relation suivante :

$$E \text{ (en UFL)} = 6{,}3\,C^2 + 0{,}002\,A^2 - 0{,}017\,A$$

où C représente la proportion de concentré (de 0 à 0,5) dans la ration et A les apports énergétiques exprimés en UFL par jour.

La précision de cette correction a été déterminée dans le cas particulier de rations composées de 62 à 68 % d'ensilage de maïs et de 38 à 32 % d'aliment concentré à base de maïs. Cinq études ont été réalisées en chambres respiratoires (127 bilans énergétiques permettant de déterminer la valeur énergétique nette exacte des rations) avec des vaches fortes productrices (en moyenne 31,5 kg de lait à 4 % de matières grasses par jour) en début ou en milieu de lactation (VERMOREL *et al.*, 1982 et non publié). Les résultats montrent que les apports énergétiques nets mesurés sont en parfait accord avec les apports théoriques corrigés à l'aide de la relation précédente.

Les corrections à apporter à la valeur énergétique des rations pour tenir compte de l'accroissement du niveau alimentaire et des interactions entre les aliments concentrés et les fourrages ont été intégrées dans le calcul des rations pour les vaches laitières (FAVERDIN *et al.*, 1987). Elles peuvent être exprimées directement en fonction de la production laitière des vaches et de la valeur énergétique des fourrages de la ration de base qui détermine la proportion d'aliment concentré à utiliser dans la ration (tableau 3). Ces corrections sont plus fortes que celles recommandées en 1978 (de 0,2 à 0,6 UFL selon la production laitière) quelle que soit la valeur énergétique du fourrage (fig. 1).

L'exploitation des données disponibles n'a pas mis en évidence de relation significative entre les différences «Apports-Besoins» (dAB) et la nature des glucides des rations caractérisée par le rapport «(amidon + sucres)/cellulose brute» qui variait pourtant de 0,2 à 2,0.

En définitive, les corrections pour les phénomènes d'interaction entre les aliments concentrés et les fourrages atteignent 1,4 à 1,8 UFL pour les vaches laitières fortes productrices. Il faut donc absolument en tenir compte sous peine de sous-alimenter fortement les animaux les plus productifs.

TABLEAU 3

Valeurs de l'interaction (E, en UFL) entre les aliments concentrés et les fourrages, à la couverture stricte des besoins énergétiques de la vache, pour différents niveaux de production laitière et 3 valeurs énergétiques d'un fourrage à 1,1 UEL, complémenté par un aliment concentré à 1,05 UFL/kg de MS. Ces valeurs doivent être ajoutées aux besoins en UFL de l'animal avant de calculer la composition de la ration à distribuer

Production laitière (kg de lait à 4 % MG/jour)	Valeur énergétique du fourrage (UFL/kg MS)		
	0,9	0,8	0,7
15	0,1	0,1	0,2
20	0,2	0,4	0,7
25	0,6	0,9	1,2
30	1,1	1,4	-
35	1,7	1,9	-

Dans le cas des animaux en croissance ou à l'engrais, les interactions sont plus limitées que chez les vaches laitières car le niveau d'alimentation est plus faible. Pour simplifier les calculs de rationnement, on n'a pas introduit de correction pour les interactions entre les aliments concentrés et les fourrages ; ce phénomène est pris en compte directement dans les apports énergétiques recommandés. Cependant, les interactions sont plus importantes dans le cas de l'ensilage de maïs qui comporte environ 40 % de grain ; dans ce cas, la correction a été faite directement sur la valeur énergétique de l'ensilage de maïs qui a été réduite de 0,84 à 0,80 UFV par kg de matière sèche.

VIII. Conclusion

Le nouveau mode de calcul de la valeur énergétique nette des aliments pour les ruminants introduit en France en 1978 et son expression en 2 unités fourragères (UFL et UFV) ont donné satisfaction depuis 10 ans. Il n'y avait pas lieu de modifier les structures du système et les relations de prévision des rendements d'utilisation de l'énergie métabolisable des aliments pour la production laitière ou pour la production de viande ; les valeurs utilisées ont été confirmées par les résultats des recherches ou des essais d'alimentation réalisés au cours des dix dernières années. Cependant, une incertitude demeure pour le rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable des fourrages de qualité moyenne ou médiocre pour la lactation, donc pour leur valeur UFL. De même, des informations complémentaires sont nécessaires sur les variations du rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la croissance selon la composition chimique du croît des animaux et les proportions des produits terminaux de la digestion des aliments ou des rations.

En revanche, des améliorations ont pu être apportées dans la prévision de la valeur énergétique de certains aliments, en particulier des ensilages d'herbe, des ensilages de maïs et des principaux aliments concentrés, grâce aux mesures d'énergie brute

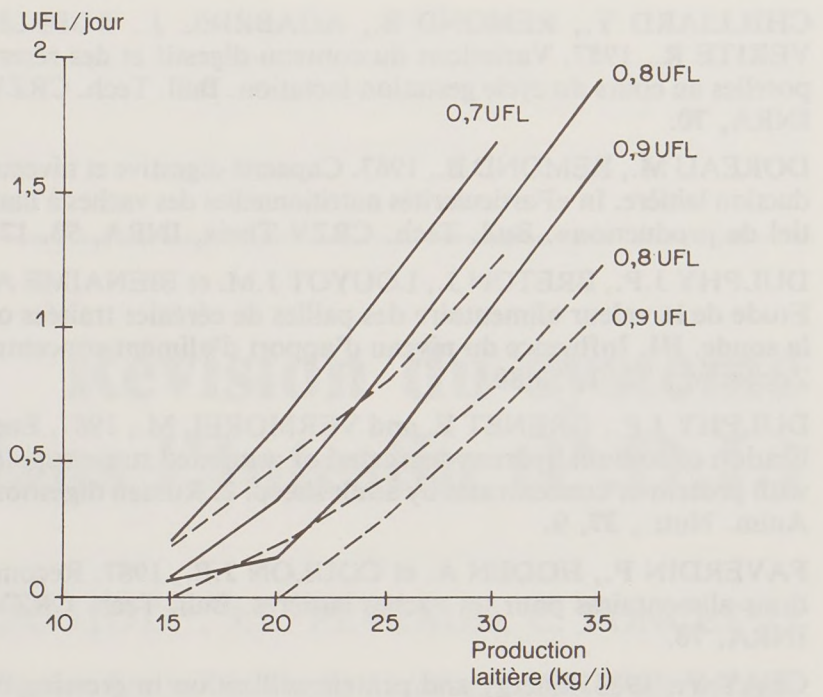


FIG. 1 : *Variations de l'interaction (UFL/jour) entre les aliments concentrés et les fourrages selon la production laitière des vaches et la valeur énergétique des fourrages de la ration de base (UFL/kg MS). Comparaison des corrections obtenues en 1978 (---) et en 1987 (———). Les différences d'interaction liées à la valeur énergétique du fourrage résultent essentiellement des modifications des proportions de concentré dans les rations.*

et de digestibilité réalisées, pour la plupart, en France. De même, de nouvelles équations de prévision de la valeur énergétique des aliments composés vont être établies à partir des mesures de digestibilité et de teneur en énergie métabolisable effectuées en France, en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas.

Les connaissances acquises sur l'évolution de la composition du gain de poids et les résultats des essais d'alimentation ont permis d'améliorer la prévision des besoins et des apports recommandés pour les ruminants en croissance ou à l'engrais. Enfin, la meilleure connaissance des processus digestifs chez les ruminants et l'exploitation des résultats des nombreux essais d'alimentation réalisés chez les vaches laitières ont permis d'affiner les corrections proposées précédemment pour tenir compte des interactions digestives et métaboliques entre les aliments concentrés et les fourrages, et d'améliorer la précision du rationnement. Cependant, des recherches doivent être développées pour préciser l'influence des proportions des produits terminaux de la digestion des rations sur leur valeur énergétique nette et sur l'orientation du métabolisme de la femelle vers la sécrétion lactée ou la constitution de réserves corporelles.

Références bibliographiques

AGABRIEL J. et PETIT M., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

ANDRIEU J. et DEMARQUILLY C., 1987. Valeur nutritive des fourrages : Tables et prévision. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

BLAXTER K.L. and WAINMAN F.W., 1964. The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for maintenance and for fattening. J. Agric. Sci., **63**, 113-128.

BOCQUIER F., THERIEZ M. et BRELURUT A., 1987. Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

CHILLIARD Y., REMOND B., AGABRIEL J., ROBELIN J. et VERITE R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

DOREAU M., REMOND B., 1983. Capacité digestive et niveau de production laitière. In «Particularités nutritionnelles des vaches à haut potentiel de production». Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **53**, 17-26.

DULPHY J.P., BRETON J., LOUYOT J.M. et BIENAIME A., 1983. Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. III. Influence du niveau d'apport d'aliment concentré. Ann. Zootechn., 32, 1, 53-80.

DULPHY J.P., GRENET E. and VERMOREL M., 1987. Energy utilization of sodium hydroxyde treated or untreated straw supplemented with protein or concentrates by adult sheep. 2. Rumen digestion. Arch. Anim. Nutr., **37**, 9.

FAVERDIN P., HODEN A. et COULON J.B., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches laitières. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

GEAY Y., 1984. Energy and protein utilization in growing cattle. J. Anim. Sci., 58, **3**, 766-778.

GEAY Y., MICOL D., ROBELIN J., BERGE Ph. et MALTERRE C., 1987. Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

GEAY Y., ROBELIN J., BERANGER C., MICOL D., GUEGUEN L. et MALTERRE C., 1978. Bovins en croissance et à l'engrais, 297-343. In «Alimentation des Ruminants», Ed. INRA Publications (Route de St-Cyr), 78000 Versailles.

HONING Y. Van der, WIEMAN B.J., STEG A. and DONSELAAR B. Van, 1981. The effect of fat supplementation of concentrates on digestion and utilization of energy by productive dairy cows. Neth. J. Agric. Sci., **29**, 79-92.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D. et BRUN-BELLUT J., 1987. Recommandations alimentaires pour les caprins. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

SAUVANT D., AUFRERE J., MICHALET-DOREAU B., GIGER S. et CHAPOUTOT P., 1987. Valeur nutritive des aliments concentrés : Tables et prévision. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

VERMOREL M., DULPHY J.P. and BOUVIER J.C., 1987. Energy utilization of sodium hydroxyde treated or untreated straw supplemented with protein or concentrates by adult sheep. 1. Feed intake, digestibility, metabolizability and net energy value. Arch. Anim. Nutr., **37**, 718.

VERMOREL M., REMOND B., VERNET J. and LIAMADIS D., 1982. Utilization of body reserves by high-producing cows in early lactation ; effects of crude protein and amino-acid supply, 18-21. In «Energy Metabolism of Farm Animals», A. EKERN and F. SUNDSTOL Ed. EAAP Publ. n° 29.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 19-34

Révision du système des Protéines Digestibles dans l'Intestin (P.D.I.)

R. VERITE, B. MICHALET-DOREAU*, P. CHAPOUTOT**, J.L. PEYRAUD, C. PONCET***

INRA Saint-Gilles, Station de Recherches sur la Vache Laitière, 35590 L'Hermitage.
**INRA - CRZV Theix, Laboratoire des Aliments, 63122 Ceyrat.*
***INRA - INA PG, Station de Nutrition et d'Alimentation, 16,rue Claude-Bernard, 75231 Paris Cedex 05.*
****INRA - CRZV Theix, Laboratoire de la Digestion, 63122 Ceyrat.*

Introduction

Le système PDI élaboré à partir de 1975 est totalement fonctionnel depuis 10 ans (INRA 1978, VERITE *et al.*, 1979). Il est maintenant largement utilisé en France pour la pratique du rationnement des ruminants, en particulier des bovins. Il a permis un progrès important sur le système MAD comme le confirme l'amélioration de la prédiction des réponses des animaux (VERITE et GEAY, 1987). Il a très certainement été à la base des progrès récents dans le domaine de l'alimentation azotée. Son large emploi en pratique confirme son intérêt mais a aussi permis d'amener progressivement des observations intéressantes quant à ses principales imperfections :
- difficultés et incertitudes de la mesure de la dégradabilité des aliments ;
- absence de modulation de la synthèse microbienne entre les aliments d'où en particulier une surestimation de la valeur de certains ensilages d'herbe ;
- sous-estimation du recyclage dans quelques cas pouvant conduire à des apports d'azote non protéique (ANP) un peu trop élevés ;
- incertitudes sur le besoin des animaux au voisinage de l'entretien.

Simultanément, les connaissances sur la digestion et le métabolisme azoté ont progressé tout comme les méthodes de mesure de ces phénomènes. L'actualisation des bases du système, présentée ici, intégre ces éléments et permet d'arriver à un outil plus précis.

Dans cette révision, les principes et l'ossature du système décrivant l'utilisation digestive et métabolique ont été conservés car ils permettent un degré de précision suffisant pour l'objectif pratique recherché tout en ne nécissitant pas la connaissance d'un nombre trop grand de caractéristiques de l'aliment. Cette ossature a fait ses preuves puisque la même a été adoptée pour la plupart des autres systèmes nouveaux ayant le même objectif (cf JARRIGE et ALDERMAN, 1987). Les modèles développés pour la recherches (BLACK *et al.*, 1982) sont capables de mieux simuler les processus digestifs et métaboliques mais ils font appel à un nombre de paramètres beaucoup trop important pour avoir un intérêt pratique actuellement. Ce sont en fait des systèmes de recherche à la mesure de la complexité des phénomènes qu'ils cherchent à étudier. Par ailleurs, l'emploi de 2 paramètres - PDIN et PDIE - pour représenter la valeur d'un aliment a été conservé car il correspond maintenant à une habitude des utilisateurs et présente des avantages sur d'autres modes d'expression tant pour les calculs de rations que pour la comparaison des aliments entre eux.

Les principales modifications proposées se rapportent à :
- l'estimation de la dégradabilité de l'azote qui repose maintenant sur la dégradabilité théorique (DT) mesurée par la méthode des sachets de nylon,
- l'estimation de la synthèse microbienne indexée sur la matière organique fermentescible dans le rumen,
- la fraction d'azote endogène transitant à l'entrée de l'intestin grêle qui n'est plus imputée aux aliments.

Simultanément, une base expérimentale plus large a permis de réviser les principaux paramètres décrivant les différents processus digestifs et métabolliques ainsi que la valeur des besoins.

I. Les modifications des bases du système PDI

Les principes de base sont inchangés (INRA, 1978). Le système P.D.I. évalue les aliments et les besoins des animaux en terme d'acides aminés réellement aborbés dans l'intestin grêle, à l'exception de ceux d'origine endogène. Il repose sur l'estimation des 2 fractions, alimentaire (PDIA) et microbienne (PDIM). Pour cette dernière, 2 valeurs possibles sont attribuées à chaque aliment selon que l'on considère l'énergie fermentescible (PDIME) ou l'azote dégradable (PDIMN). Globalement, chaque aliment est donc décrit par 2 valeurs parallèles

(PDIN = PDIA + PDIMN et PDIE = PDIA + PDIME) données dans les Tables. Pour une ration, les valeurs PDIN et PDIE des aliments sont additionnées séparément et la plus faible de ces 2 sommes correspond à la valeur de la ration.

1. Détermination de la valeur PDI des aliments

Le schéma du principe est rappelé dans la figure 1. Les valeurs PDI sont obtenues à partir de 4 caractéristiques propres à chaque aliment :
- la teneur en matières azotées totales (MAT) ;
- la dégradabilité théorique (DT) des matières azotées dans le rumen mesurée par la méthode des sachets de nylon ;
- la teneur en matière organique fermentescible dans le rumen (MOF) qui est assimilée à la matière organique digestible (MOD) diminuée des matières grasses et des matières azotées non dégradables, ainsi que des produits de la fermentation des ensilages ;
- la digestibilité réelle dans l'intestin grêle (dr) des acides aminés d'origine alimentaire.

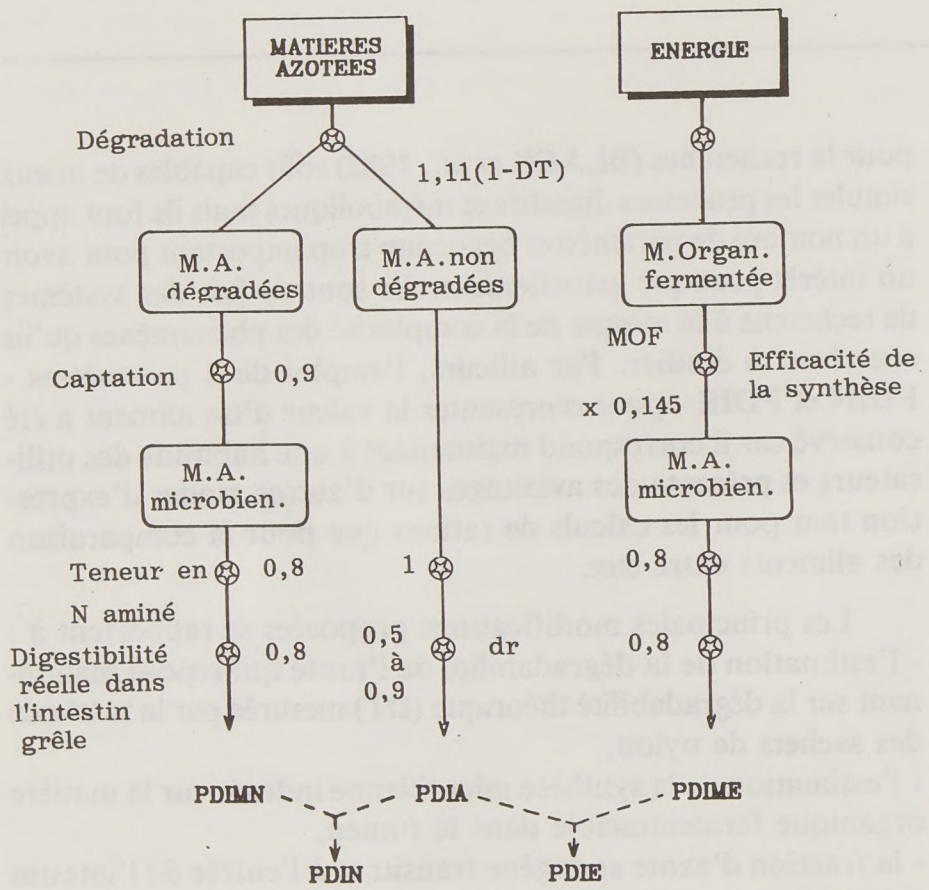


FIG. 1 : *Principe de la détermination des valeurs PDI des aliments.*

Les coefficients fixes du système décrivant les processus de la digestion reposent sur les relations moyennes suivantes qui sont justifiées ultérieurement :
- la proportion des matières azotées alimentaires effectivement non dégradées dans le rumen correspond à 1,11 fois celle calculée à partir de la dégrabalité théorique en sachet (DT) ;
- les matières azotées alimentaires non dégradées sont constituées en totalité par des acides aminés dont la digestibilité réelle (dr) est variable selon les aliments ;
- les microbes synthétisent en moyenne 145 g de matières azotées par kg de matière organique fermentescible (MOF) et peuvent capter au mieux 90 % de l'azote alimentaire dégradable ;
- les matières azotées microbiennes contiennent 80 % d'acides aminés dont la digestibilité réelle dans l'intestion grêle est de 0,8.

Les équations de base pour le calcul de la valeur des aliments sont données dans le tableau 1. Les valeurs moyennes retenues pour la dégradabilité théorique et la digestibilité réelle des protéines alimentaires figurent dans le tableau 5.

2. Les besoins des animaux

Les besoins en PDI des animaux correspondent aux quantités de PDI qu'il convient d'apporter par l'alimentation pour compenser en permanence les pertes ou dépenses azotées, avec la meilleure efficacité d'utilisation de la ration et sans affecter la santé ni la reproduction. Ils impliquent que la ration soit par ailleurs bien équilibrée dans tous ses autres composants (énergie, minéraux,...).

Dans chaque espèce, le besoin d'entretien a été fixé proportionnellement à la taille de l'individu c'est-à-dire à son poids métabolique ($P_{0,75}$). Il s'élève à 3,25 g/kg de poids métabolique chez les bovins, 2,50 chez les ovins et 2,30 chez les caprins. Il diminuerait légèrement chez les animaux accoutumés à recevoir un régime pauvre en azote. Pour des animaux alimentés au voisinage de l'entretien, il serait plus élevé avec des rations comportant plus de constituants indigestibles ; en effet les besoins précédemment indiqués tiennent compte des dépenses relatives aux processus digestifs mais d'une façon moyenne ; or celles-ci peuvent varier avec le régime chez le même animal.

Les besoins de production ont été déterminés à partir des quantités de protéines produits (lait) ou déposées (gestation, croissance) et du rendement d'utilisation métabolique des acides aminés absorbés (PDI). Ces éléments sont fournis dans le tableau 2 et leurs bases justifiés ci-après ou dans les articles de ce numéro sur chaque espèce (GEAY *et al.*, 1987 ; THERIEZ *et al.*, 1987 ; MORAND-FEHR *et al.*, 1987). A titre d'exemple, les besoins sont de 48 g PDI par kg de lait standard chez la vache et 45 chez la chèvre. Chez les bovins en croissance normale ou rapide, ils sont le plus généralement compris entre 250 et 350 g PDI par kg de gain. Les besoins de gestation représentent, au cours du dernier mois, 50 p. 500, 120 p. 100 et 80 à 160 p. 100 du besoin d'entretien respectivement chez les bovins, les caprins et les ovins (selon le nombre de fœtus).

3. Les apports recommandés

3.1. La nutrition de l'animal

Les apports recommandés correspondent le plus souvent aux besoins précédemment définis. Cependant, la stratégie d'alimentation doit aussi tenir compte des contraintes pratiques, techniques et économiques. En particulier :

1) l'alimentation doit être considérée non pas au jour le jour mais sur l'ensemble du cycle de production pour les femelles laitières ou allaitantes et en fonction du cycle annuel de disponibilité en aliments. Les apports recommandés s'éloignent parfois des besoins stricts, en particulier en fin de gestation chez la brebis (ils incluent une marge de sécurité) ou en début de lactation chez la vache laitière (du fait de la mobilisation d'une certaine quantité de protéines) ou pendant l'hivernage chez les animaux au voisinage de l'entretien (cf articles par espèce, dans ce numéro).

2) le niveau des apports doit aussi être adapté en fonction des réponses marginales de production et des conditions économiques du moment. Il est nécessaire pour cela de connaître les fonctions de production liant la réponse des animaux au niveau de l'apport azoté. Ceci a commencé à être précisé chez la vache

TABLEAU 1

Formules de base pour le calcul de la valeur PDI des aliments

PDIA	= MAT x (Fraction non Dégradée)		x AAa	x	Digestibilité
PDIMN	= MAT x (Fraction Dégradée) x Captation		x AAm	x	Digestibilité
PDIME	= Energie fermentée x Efficacité		x AAm	x	Digestibilité
PDIA	= MAT x [1,11 (1 - DT)]		x 1,0	x dr	
PDIMN	= MAT x [1 - 1,11 (1 - DT)]	x 0,9	x 0,8	x 0,8	
PDIME	= MOF x 0,145		x 0,8	x 0,8	

PDIA	= 1,11	x MAT	x (1 - DT)	x dr
PDIMN	= 0,64	x MAT	x (DT - 0,10)	
PDIME	= 0,093	x MOF		

où PDIA, PDIMN, PDIME, MAT et MOF sont en g/kg MS

avec MAT = teneur en matières azotées totales de l'aliment.

AAa et AAm = taux d'acides aminés dans les matières azotées alimentaires non dégradées et dans les matières azotées microbiennes.

DT = dégradabilité théorique en sachets (obtenue avec un taux de passage des particules de 0,06 par heure). La fraction non dégradée dans l'animal correspond à 1,11 fois la fraction non dégradable en sachet (1 - DT)

dr = digestibilité réelle des acides aminés alimentaires dans l'intestin grêle.

MOF = teneur en matière organique fermentescible de l'aliment = matière organique digestible - matières grasses - matières azotées non dégradables - produits de fermentation des ensilages
Pour le maïs grain et le sorgho, la valeur MOF est diminuée respectivement de 20 et 30 % car une fraction de l'amidon n'est digérée que dans l'intestin.

TABLEAU 2

Rendement d'utilisation métabolique des acides aminés absorbés et besoins en PDI pour les différents productions

	Bovins	Caprins	Ovins
Lait			
Teneur en protéines (g/kg).....	31*	29*	(45 - 65)
Rendement.....	0,64	0,64	0,58
Besoins PDI (g/kg).....	48*	45*	(76 - 110)
Croissance**			
Teneur en protéines (g/kg).....	200 - 150	-	-
Rendement.....	0,68 - 0,40	-	-
Besoins PDI (g/kg).....	(250 - 350)	(360)	-
Gestation			
Rendement.....	0,60	-	0,42***
Besoins PDI (g/j) (1).....	200	-	(47-106)***
Besoins PDI % besoin entretien(1)	50	120***	(80-160)***
Entretien			
Besoins PDI (g/kg poids métabolique)	3,25	2,30	2,50

(1) dernier mois de gestation

* lait standard.

** pour l'animal jeune ; la teneur en protéines et le rendement diminuent avec l'âge.

*** apports recommandés (fonction du poids de la portée).

laitière (VERITE *et al.*, 1983 ; VERITE et PEYRAUD, 1988) et à un degré moindre chez les jeunes bovins en croissance rapide).

3) l'impact de la nutrition azotée sur la valorisation globale de la ration se fait pour une bonne partie par l'influence sur l'ingestion et la digestion des fourrages.

4) les besoins en acides aminés indispensables ne peuvent-pas encore être chiffrés actuellement mais les risques de déficit existent parfois pour certains (RULQUIN et CHAMPREDON, 1987, dans ce numéro). Ils ont été montrés pour la lysine et la méthionine chez les femelles laitières très fortes productrices recevant certains types de rations, en particulier celles à base de maïs. Ils sont encore plus fréquentes pour les acides aminés soufrés dans le cas de la brebis laitière du fait de la pousse de laine (BOCQUIER *et al.*, 1987, dans ce numéro).

3.2. La nutrition azotée des microbes : les tolérances de déficit d'apport PDIN

Avant de satisfaire les besoins en acides aminés des animaux, une alimentation azotée correcte doit satisfaire les besoins azotés des microbes. Pour cela, il suffit théoriquement que les apports PDIN soient au moins égaux aux apports PDIE. Cependant, cette condition doit être nuancée, d'une part en fonction des phénomènes de recyclage et, d'autre part, en tenant compte de la nature de l'azote dégradable. Le recyclage de l'urée endogène contribue pour une part variable mais parfois importante à la fourniture d'azote aux microbes. Cela permet de tolérer un déficit d'apport PDIN relativement à l'apport de PDIE sans effet trop négatif sur la production, l'ingestion et la digestibilité de la ration. Ce déficit tolérable exprimé en g de (PDIN-PDIE) par UFL dépend à la fois du type de production et de l'état physiologique de l'animal ainsi que de la ration. Cette tolérance (tableau 3) est d'autant plus faible que la production est plus élevée et que l'apport PDIE relativement aux besoins de l'animal est plus faible. Ainsi elle est généralement plus importante pour les animaux en croissance que pour la production laitière et pour les animaux en milieu de lactation que pour ceux en début de lactation (tableau 3). Les valeurs sont issues, pour les vaches laitières et les jeunes bovins, d'essais d'alimentation (recalculées à partir des données de VERITE et GEAY, 1987). Le risque de légère diminution de la production et de l'efficacité alimentaire associée à cette tolérance ne doit pas être ignoré, même si ses effets sont trop faibles pour être détectés dans la pratique.

TABLEAU 3

Déficit en PDIN tolérable en raison du recyclage d'urée endogène (apport PDIN-apport PDIE en g/UF)

	Apport PDIE vs besoin PDI de l'animal		
	Faible	Normal	Elevé
Vaches laitières	0	- 4	- 8
Chèvres	-	- 7	- 14
Brebis	0	-	-
Bovins en croissance rapide	- 5	- 9	- 13
Vaches allaitantes	-	-	- 17 *
			- 23 **

* en lactation ** en gestation

Par ailleurs, la nature des MA dégradés pourrait avoir une influence sur la synthèse microbienne ; les acides aminés issus de la dégradation des protéines seraient incorporés avec efficacité par les bactéries et certains fournissent des chaines carbonées ramifiées utiles aux synthèses. Pour des animaux à forte production recevant des régimes de fourrages pauvres en azote (ensilage de maïs) complémentés avec des protéines très peu dégradables, il est souhaitable que le déficit en PDIN ne soit pas couvert uniquement par de l'azote non protéique mais aussi en partie par des protéines dégradables.

II. Dégradation des matières azotées dans le rumen

1. Les variations de la dégradation et son appréciation

La dégradation des matières azotées dans le rumen dépend :
- des caractéristiques intrinsèques de dégradabilité de l'aliment, c'est-à-dire de la nature et de la structure des protéines mais aussi de leur accessibilité qui est plus ou moins grande selon les structures végétales qui les contiennent (cytoplasme, parois végétales) ou les protègent (tissus lignifiés). Elle peut être modifiée par des traitements (chaleur, actions chimiques ou microbiennes...) appliqués volontairement (séchage, extraction des huiles, procédés de protection, ensilage...) ou non (échauffement lors de la conservation des fourrages). L'accessibilité peut être accrue par le broyage et les traitements de délignification ou diminuée par enrobage.
- des conditions de la digestion ruminale, en particulier de l'activité protéolytique des microbes qui détermine la vitesse de digestion, et de la durée de rétention des aliments qui détermine celle de l'attaque microbienne. Ces 2 paramètres sont conditionnés par les caractéristiques globales de la ration entière : forme physique, niveau d'alimentation, proportion de fourrage, équilibre et nature des glucides...

Le mesure *in vivo* de la dégradation des matières azotées avec des animaux fistulés est très lourde et reste relativement peu précise car elle est soumise à des erreurs multiplicatives (VERITE *et al.*, 1986). Il est cependant possible de la prédire si l'on connaît les variations des principaux facteurs énoncés ci-dessus (dégradabilite, activité protélolytique, durée de rétention dans le rumen). Dans les conditions usuelles d'alimentation, la dégradabilité est généralement le facteur le plus important et était seule prise en compte dans le système PDI en 1978. Son appréciation reposait alors sur un test microbien simple, la fermentescibilité *in vitro* qui donne une image ponctulle de la dégradation à une période clé c'est-à-dire après 6 h d'incubation ; un test de solubilité (DURAND) avait aussi été proposé pour les analyses de série.

Pour améliorer la prédiction il était nécessaire de disposer d'une description cinétique de la dégradation afin 1) de décrire de façon plus complète les aliments et 2) de prendre en compte, par un modèle déterministe, un deuxième facteur : le rythme d'évacuation des particules hors du rumen. Plutôt que de modifier la méthode de fermentescibilité *in vitro,* il est apparu plus simple d'adopter la méthode des sachets de nylon (ORSKOV et Mc DONALD, 1979) d'autant que cette dernière est largement utilisée dans le monde. Ce choix permettait en outre de profiter des nombreux résultats déjà acquis dans les autres pays

Cette méthode a cependant ses limites : une attention particulière a donc été portée sur 3 points :
- la standardisation la plus complète possible de la méthode dans sa mise en œuvre ;
- l'harmonisation des données issues de laboratoire ou de pays différents pour l'élaboration des Tables ; les références françaises ont été privilégiées ;
- l'étalonnage de la méthode sur une large base de mesures de dégradation *in vivo*.

2. La mesure de la dégrababilité théorique (DT)

2.1. La cinétique de dégradation et sa standardisation

L'utilisation de cette technique est apparemment simple : les aliments à tester (3 g) sont mis dans des sachets de nylon (6 cm × 11 cm - taille de pore : 46 microns) lesquels sont introduits dans le rumen de vaches recevant un régime standard (foin : 70 p. 100 - concentré 30 p. 100), et retirés après 2-4-8-16-24 et 48 h d'incubation. Après lavage et séchage des sachets, la teneur en N des résidus est dosée (MICHALET-DOREAU *et al.*, 1987).

Cependant, pour obtenir une répétabilité et une reproductibilité acceptables, cette technique nécessite impérativement :
- une standardisation très stricte des conditions de mesure et de la procédure suivie ;
- le recours à des aliments de référence introduits dans chaque série de mesure (LE GOFFE *et al.*, 1986) car l'activité protéolytique ruminale est variable. La technique retenue utilise comme références un tourteau de soja et une luzerne déshydratée communs à tous les laboratoires et séjournant respectivement 4 et 8 h dans le rumen.

2.2. Le transit ruminal

En situation normale dans le rumen, les matières azotées peuvent être soit dégradées soit évacuées vers la suite du tube digestif. Lorsque les particules alimentaires ont atteint une taille suffisamment petite, leur sortie est possible mais étalée dans le temps (phénomène de dilution et rôle de filtre de la masse fibreuse). Il est généralement admis que le taux de sortie (quantité sortante/quantité présente) est constant dans le temps. Connaissant la cinétique de dégradation et le taux de sortie des particules, il est possible de calculer à chaque instant l'importance des 2 voies et par sommation dans le temps, la dégradation théorique (KRISTENSEN, 1982). Pour simplifier les calculs de dégradation la cinétique est souvent ajustée selon un modèle exponentiel (ORSKOV et Mc DONALD, 1979) supposant 3 fractions azotées : une fraction immédiatement dégradable, une fraction dont la dégradation se fait plus lentement à vitesse constante et une fraction non dégradable.

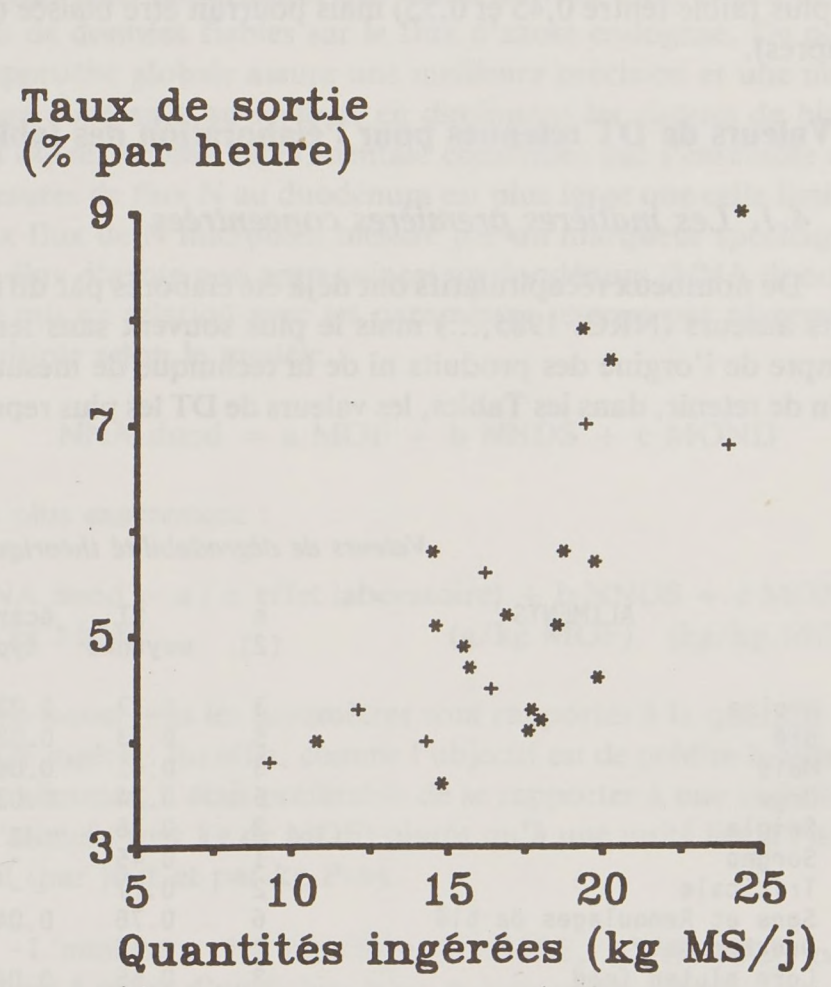
Le taux de sortie de particules du rumen retenu pour l'ensemble des aliments est 6 p. 100 par heure. Cette valeur permet de fournir un classement des aliments sur DT qui constitue un indice relatif de la dégradation, lequel sera étalonné sur des mesures *in vivo* (cf ci-après). Le classement des aliments n'est d'ailleurs pratiquement pas modifié lorsque le taux de sortie varie de 4 à 8 %, valeurs qu représentent ses limites de variation dans les conditions normales d'alimentation.

La valeur 6 p. 100 retenue correspond à un récapitulatif des données obtenues sur vaches laitières où le taux de sortie moyen des concentrés a été de 5,4 p. 100 mais atteignait 5,8 p. 100 pour les animaux ayant un niveau d'ingestion "normal" (plus de 15 kg MS) et semblait indépendant de la nature du concentré. La même valeur a été retenue pour les fourrages bien que les mesures indiquent un taux de sortie plus faible (4,5 p. 100/h dans l'étude mentionnée) ; ceci permettra de compenser en partie la surestimation légère de la vitesse de dégradation des fourrages que provoque probablement le fait de les broyer avant de les introduire dans les sachets.

Cependant, le taux de sortie varie avec les conditions d'alimentation : le niveau d'ingestion (figure 2), la nature de la ration et sa forme de présentation (le taux de sortie du concentré est très corrélé à celui du fourrage auquel il est associé : r = 0,92), le type d'animal et son stade physiologique. Ces variations ont été parfois accrues par des conditons extrêmes de recherche. Par ailleurs, il n'était pas possible de retenir plusieurs valeurs du taux de sortie ; cela aurait conduit à caractériser chaque aliment dans les tables par plusieurs séries de valeurs PDI, pour un intérêt tout à fait illusoire puisqu'à l'emploi, l'utilisateur ne pourrait pas connaître le taux de sortie à retenir.

3. Valeurs de dégradabilité disponibles à l'INRA

Pour obtenir un catalogue des aliments français, trois laboratoires de l'INRA ont déterminé la dégradabilité des protéines sur plus de 400 aliments : le Laboratoire des Aliments de Theix (MICHALET-DOREAU) principalement sur les aliments concentrés "classiques" (céréales, tourteaux...), la Station de Nutrition et Alimentation de l'INA-PG (CHAPOUTOT) surtout sur



Terres Rares (*) : PRANGE et al. (1979), HARTNELL et SATTER (1979), PRANGE et al. (1982), SNYDER et al. (1984), SHAVER et al. (1986), PEYRAUD et MAMBRINI (1988 et non publié).

Chrome mordancé (+) : COLUCCI et al. (1982), LINDBERG (1982), Van VUUREN et al. (1984).

FIG. 2 : *Evolution du taux de sortie des particules de concentré avec les quantités ingérées chez la vache laitière.*

les sous-produits, la Station de Recherches sur la Vache Laitière de RENNES (LE GOFFE, VERITE) essentiellement sur les fourrages.

Les résultats moyens (non publiés) pour les aliments concentrés sont présentés au tableau 4 avec le cac échéant l'écart-type (pour chacun des 2 laboratoires concernés). Les valeurs ont été obtenues après correction d'un effet laboratoire par analyse de variance pour tenir compte des variations liées à l'application dans un des laboratoires d'une méthodologie légèrement différente à cette époque, de la méthode standard (cf ci-après).

Les valeurs des fourrages proviennent principalement d'un laboratoire (LE GOFFE *et al.*, non publié). La DT des fourrages verts est relativement élevée (0,78 ± 0,05 n = 72). Elle apparaît plus fortes sur les premiers cycles récoltés très précocement (0,82 ± 0,03) que sur les repoussses récoltées à un stade pâturage (0,75 ± 0,05). Elle aurait tendance à augmenter avec la teneur en azote mais cette liaison n'existe qu'à l'intérieur de populations homogènes quant aux conditions agro-climatiques. Cependant les causes réelles des variations (conditions agro-climatiques, espèces, stade,...) sont seulement en cours d'analyse. La DT des ensilages est du même ordre de grandeur (0,74 ± 0,07 n = 15). Elle est un peu plus faible pour les ensilages avec concervateur que pour ceux sans conservateur et pour les ensilages de trèfle violet que pour ceux de graminés. La DT des foins à teneur en MA supérieure à 12 p. 100 est en moyenne 0,66 ± 0,04 (n = 15), celle des foins plus pauvres (6 à 10 p. 100 MA) est plus faible (entre 0,45 et 0,55) mais pourrait être biaisée (cf ci-après).

4. Valeurs de DT retenues pour l'élaboration des tables

4.1. Les matières premières concentrées

De nombeux récapitulatifs ont déjà été élaborés par différents auteurs (NRC, 1985,...) mais le plus souvent sans tenir compte de l'orgine des produits ni de la technique de mesure. Afin de retenir, dans les Tables, les valeurs de DT les plus représentatives des aliments utilisés en France, tout en conservant une bonne fiabilité, nous avons utilisés préférentiellement les données précédentes de l'INRA augmentées de celles d'un laboratoire privé français (1). Ainsi, les valeurs de 23 matières premières importantes sont issues de ces seules données (183 échantillons). Nous avons fait appel aux données des principales équipes étrangèeres (DE BOEVER *et al.*, MADSEN et HVELPLUND, LINDBERG, MATHERS *et al.*, ORSKOV *et al.*) soit en cas d'absence de valeurs françaises, soit pour valider nos données lorsque celles-ci comportaient trop peu d'échantillons ou provenaient d'un seul des laboratoires français (27 matières premièes, 58 échantillons) ; ce fichier complet comportait alors 476 échantillons relatifs à 36 aliments étudiés par 15 équipes.

Il existe de très larges différences entre équipes pour une même matière première ce qui imposait une harmonisation des valeurs. Pour assurer la meilleure cohérence possible, et en l'absence d'échantillon de référence, les valeurs DT ont donc été ajustées pour un effet fixe lié au laboratoire afin de tenir compte des différences de méthodes (CHAPOUTOT *et al.*, non publié). Cet effet moyen "laboratoire" avait été déterminé par une analyse de variance à 2 voies (laboratoire, matière première) ; une analyse préliminaire sur un nombre réduit d'aliment n'avait pas montré d'interaction significative. Les différences de DT sont assez faibles entre les 3 laboratoires français concernés : + 0,05 et − 0,02 par rapport à celui appliquant strictement la méthode standard. Par contre cet effet s'avère très important avec certains laboratoires étrangers, appliquant des techniques sans doute beaucoup plus variées : de − 0,08 à + 0,08. Cette méthode permet une certaine harmonisation *à postériori* bien qu'elle ne soit qu'une approximation puisque les échantillons avaient évidemment des origines différentes entre laboratoires.

(1). MRs JACQUOT et VEDEAU de la Société SANDERS, que nous tenons à remercier vivement pour avoir mis leurs données à notre disposition.

TABLEAU 4

Valeurs de dégradabilité théorique (DT) obtenues par les laboratoires INRA (1)

ALIMENTS	n (2)	DT moyenne	écart type
Avoine	3	0.77	0.03
Blé	5	0.73	0.02
Maïs	3	0.41	0.06
Orge	5	0.74	0.03
Seigle	2	0.76	-
Sorgho	1	0.45	-
Triticale	2	0.77	-
Sons et Remoulages de blé	6	0.76	0.04
Drêches maïs	2	0.48	-
Corn gluten feed	3	0.65	0.04
Corn gluten meal	2	0.27	-
Solubles de distillerie de maïs	1	0.64	-
DDG maïs	1	0.28	-
Drêches brasserie	1	0.21	-
Farine de riz	1	0.70	-
Levures de brasserie déshydratées	2	0.81	-
Graines Colza	1	0.87	-
Féverole	3	0.86	0.03
Lupin	2	0.94	-
Pois	2	0.87	-
Soja	3	0.90	0.03
Soja/Colza extrudées	4	0.47	0.07
Tournesol	1	0.92	-

ALIMENTS	n (2)	DT moyenne	écart type
Tourteau arachide	3	0.75	0.04
Tourteau colza	5	0.73	0.04
Tourteau coprah	2	0.52	-
Tourteau lin	1	0.55	-
Tourteau palmiste	1	0.51	-
Tourteau soja	13	0.62	0.04
Tourteaux soja/colza tannés	4	0.30	0.04
Tourteau tournesol	5	0.77	0.02
Tourteau germes maïs	2	0.55	-
Pellicules de colza	2	0.48	-
Pellicules de soja	4	0.52	0.04
Pellicules de tournesol	1	0.39	-
Pulpes d'agrumes déshydratées	2	0.68	-
Marc de raisin	1	0.28	-
Pulpes de raisin	6	0.15	0.06
Pulpes de tomates	4	0.54	0.05
Fanes pois	1	0.68	-
Farine de viande	4	0.47	0.03
Farine de poisson	1	0.44	-
Pulpes de betteraves déshydratées	10	0.48	0.06
Luzerne déshydratée	10	0.59	0.05
Manioc	1	0.73	-

(1) : Laboratoire des Aliments de Theix, Station de nutrition et d'alimentation de l'INA-PG
(2) : nombre total d'échantillons testés

Les valeurs moyennes retenues et l'écart-type intra-laboratoires sont donnés pour chaque aliment dans le tableau 5. Pour les matières premières avec peu de références, ces valeurs, encore provisoires, sont arrondies à 0,05 près. Il convient de préciser que, pour les matières premières principales, le regroupement des données étrangères avec les résultats français n'aurait pas modifié la hiérarchie des aliments et relativement peu changé les valeurs de DT. La variabilité est plus faible avec les matières premières n'ayant pas subi de traitement (écart-type généralement inférieur à 0,035) qu'avec celles ayant subi un séchage ouu une extraction (généralement entre 0,03 et 0,05 voire plus) ; cette variabilité est parfois plus forte avec des sous-produits dont les traitements sont sans doute plus disparates.

4.2. Les fourrages.

Les données françaises et étrangères ont été utilisée simultanément car elles restent relativement peu nombreuses (MADSEN et HVELPLUND, 1985 ; ALVES *et al.*, 1987 ; et ci-dessus). De plus il n'a pas été possible de définir une méthode d'harmonisation analogue à celle des concentrés. Les valeurs retenues sont approximatives et devront être précisées pour tenir compte des différents facteurs de variation.

Pour les fourrages verts un valeur de DT de 0,73 a été retenue de façon uniforme. En effet, malgré le grand nombre de données (72) obtenues récemment dans un seul laboratoire, une modulation des valeurs était prématurée car les variations correspondaient tout autant à des facteurs agro-alimentaires qu'à des variations entre espèces et stades distinguées dans les Tables.

Pour les fourrages conservés, les données sont beaucoup mois nombreuses. Elles ne permettent pas de mettre clairement en évidence l'effet des facteurs de variation (qualité initiale du fourrage vert, conditions de récolte et de conservation). En moyenne, la DT des foins est plus faible que celle des fourrages verts. Comme pour ces derniers elle varie dans le même sens que la teneur en azote. Cependant, cette liaison pourrait être due en partie à la contamination microbienne, sans doute plus élevée relativement à l'azote du fourrage avec des foins à faible teneur en azote (B. MICHALET-DOREAU). La DT de tous les foins a donc été fixée à 0,66.

La DT des ensilages d'herbe avec conservateur efficace a été également mesurée au Danemark : 0,70 après prise en compte de l'effet laboratoire (MADSEN et HVELPLUND, 1985). Les valeurs retenues (tableau 5) pour les ensilages préfanés et directs sans conservateur sont plus élevées (cf ci-dessus et DEMARQUILLY et JARRIGE, 1982)

III. Appréciation du flux duodénal de matières azotées

1. Les principes et les bases de la prévision

L'appréciation des trois fractions azotées duodénales (alimentaire, microbienne et endogène) peut se faire en prenant en compte un nombre variable de critères, mais doit nécessairement reposer sur des paramètres figurant dans les tables et/ou obtenues par des analyses usuelles et faciles à mettre en œuvre.

La teneur en matière organique digestible (MOD) avait été retenue en 1978 pour indexer la quantité d'énergie disponible pour la synthèse microbienne de préférence à la quantité de MO digérée dans le rumen (MODR) ; cette dernière est théoriquement plus adaptée mais elle ne figure pas dans les Tables, elle n'est mesurable qu'avec des animaux fistulés et elle dépend tout autant du régime et de l'animal que de l'aliment. Pour améliorer l'index, nous avons cherché à tenir compte des fractions digestibles dont l'énergie était peu ou pas utilisable par les microbes : les produits de fermentation des ensilages (PF = acides gras volatils, acide lactique, alcools), les matières grasses (MG) et les matières azotées non dégradables (MA non dégradables en sachet = 6,25 NNDS). Pour cela, la paramètre matière organique fermentescible (MOF) a été défini ainsi :

$$MOF = MOD - PF - MG - 6{,}25 \times NNDS$$

Ce paramètre est aisément disponible à partir des Tables ou par des analyses usuelles. Le choix de la dégradabilité théorique en sachets (DT) ou plus exactement de l'azote non dégradé en sachets (NNDS), pour indexer le flux de l'azote alimentaire microbien a déjà été justifié et la fraction endogène a été représenté par la teneur en MO non digestible (MOND).

L'approche globale de la prédiction du flux total d'azote au duodénum a été retenue comme en 1978 plutôt qu'une définition indépendante des relations entre chacune des fractions azotées et leur index. En effet, les mesures *in vivo* de chacune des fractions alimentaire et microbienne sont sujettes à des erreurs plus importantes que celles du flux total et il n'existe pas de données fiables sur le flux d'azote endogène. De plus, l'approche globale assure une meilleure précision et une meilleure cohérence au système en diminuant les risques de biais. En outre, la base expérimentale constituée par l'ensemble des mesures de flux N au duodénum est plus large que celle limitée aux flux de N microbien mesuré par un marqueur spécifique. Le flux d'azote non ammoniacal au duodénum (NNA duod) a été mis en relation avec les paramètres retenus par régression multiple selon le modèle :

$$NNA\ duod = a\ MOF + b\ NNDS + c\ MOND$$

ou plus exactement :

$$\underset{(g/kg\ MOF)}{NNA\ duod} = \underset{(g/kg\ MOF)}{a\ (\pm\ effet\ laboratoire)} + \underset{(kg/kg\ MOF)}{b\ NNDS} + c\ MOND$$

dans lequel tous les paramètres sont rapportés à la quantité de MOF ingérée. En effet, comme l'objectif est de prédire la valeur des aliments, il était préférable de se rapporter à une unité liée à l'aliment (par kg de MOF) plutôt qu'à une unité liée à l'animal (par jour et par kg $P^{0,75}$).

L'analyse a été effectuée (VERITE, PEYRAUD, non publié) à partir d'un fichier issus de l'ensemble des résultats de l'INRA et des bilans digestifs publiés par les équipes étrangères. La base de données ainsi constituées à l'avantage de couvrir une gamme de situations très large et d'éviter les biais éventuels liés à la technique de mesure d'une seule équipe. Au total plus de 800 bilans ont été recensés. Environ la moitié d'entre eux n'ont pas été retenus car :

- les informations disponibles étaient insuffisantes : il fallait disposer au minimum de la description de la ration, des quantités d'azote et de matière organique ingérées, du flux duodénal de NNA et de la digestibilité de MO ; la dégradabilité de l'azote et la teneur en MOF étaient recalculées à partir des valeurs des Tables ;

TABLEAU 5

Valeurs de dégradabilité théorique (DT) en sachets dans le rumen et de digestibilité réelle (dr) de la fraction alimentaire dans l'instestin grêle

ALIMENTS	nombre d' échantillons	DT RETENUE moyenne	DT RETENUE écart type	dr RETENUE
Avoine	5 (1)	0,78	0,05	0,95
Blé	10 (1)	0,74	0,03	0,95
Maïs	5 (1)	0,42	0,06	0,95
Orge	9 (1)	0,74	0,03	0,85
Triticale	3 (1)	0,76	0,03	0,95
Sons et remoulages de blé	10 (1)	0,76	0,03	0,95
Drêches de maïs	2 (2)	0,50		0,85
Corn gluten feed	7 (1)	0,69	0,08	0,85
Corn gluten meal	6 (1)	0,27	0,07	0,90
Solubles de distillerie de maïs	2 (2)	0,70		0,85
Levures de brasserie deshydratées	2 (3)	0,80		
Graines Colza	1 (2)	0,90		0,60
Féverole	3 (1)	0,86	0,03	0,60
Lin	1 (2)	0,80		0,60
Lupin	2 (2)	0,95		0,60
Pois	6 (1)	0,90	0,04	0,80
Soja	3 (2)	0,90		0,85
Soja/Colza extrudées	6 (1)	0,49	0,07	0,85
Tournesol	1 (2)	0,90		0,90
Tourteau arachide	5 (1)	0,73	0,04	0,85
Tourteau arachide traité	8 (2)	0,55		0,85
Tourteau colza	8 (1)	0,71	0,05	0,80
Tourteau lin	4 (1)	0,62	0,05	0,85
Tourteau soja	26 (1)	0,62	0,05	0,90
Tourteaux soja/colza tannés	6 (1)	0,35	0,03	0,90
Tourteau tournesol	9 (1)	0,77	0,03	0,85
Tourteau germes de maïs	3 (1)	0,52	0,06	0,85
Pellicules de colza	2 (2)	0,50		0,70
Pellicules de soja	5 (1)	0,54	0,04	0,70
Pellicules de tournesol	1 (2)	0,40		0,50
Pulpes d'agrumes déshydratées	6 (1)	0,66	0,04	0,80
Marc de raisin	1 (2)	0,30		0,25
Pulpes de raisin	6 (2)	0,15		0,25
Pulpes de tomates	4 (2)	0,55		0,80
Farine de poisson	24 (3)	0,45		0,85
Farine de viande	12 (1)	0,50	0,04	0,80
Farine de plumes	1 (2)	0,20		0,70
Pulpes de betteraves déshydratées	14 (1)	0,48	0,05	0,70
Luzerne déshydratée	15 (1)	0,60	0,04	0,70
Manioc	1 (2)	0,75		
Herbe verte	- -	0,73		0,75
Foins Graminées (Luzerne)	- -	0,66		0.70(0.75)
Ensilages Graminées (Luzerne)				
Directs	- -	0,78		0,60
Préfanés	- -	0,75		0.60(0.55)
Conservateurs	- -	0,70		0.65(0.60)
Ensilage de Mais	- -	0,72		0,70

(1) : Valeurs retenues à partir de 3 laboratoires français (INRA Theix, INRA INA-PG, SANDERS) ; résultats obtenus par analyse de variance sur 183 échantillons (23 aliments) étudiés dans les 3 laboratoires
(2) : Valeurs retenues à partir de 1 ou 2 laboratoires français et/ou sur un faible nombre d'échantillons
(3) : Valeurs issues des laboratoires français et de la bibliographie étrangère

- les régimes utilisés étaient atypiques (ration synthétique, antibiotiques...) ;
- l'apport de N dégradable pouvait être limitant ;
- certaines valeurs étaient manifestement aberrantes ;
- le nombre de bilans mesurés par l'équipe était trop faible (au minimum 10).

Finalement, 405 bilans (20 équipes), dont 94 provenant de l'INRA ont été retenus (tableau 6) ; ils ont été regroupés par espèces : 142 sur moutons, 101 sur jeunes bovins et 162 sur vaches laitières. Ils correspondent le plus souvent à des rations mixtes ; 64 sont relatifs à des fourrages verts distribués seuls. Chaque bilan est la moyenne de plusieurs observations individuelles (souvent de 3 à 6).

2. Les relations de prévision du flux duodénal

2.1. La relation obtenue à partir de cette analyse est la suivante :

NNA duod = 23,2 MOF + 1,11 NNDS + 5,3 MOND

Les différences entre équipes, portant sur le coefficient de MOF dans ce modèle, sont importantes (s = 4,5 cf tableau 6) ; la valeur du coefficient serait un peu plus élevé chez les vaches (25,0) que chez les moutons (22,8).

Bien que l'assimilation de chacun des éléments de cette relation à une des fractions azotées duodénales soit sujette à discussion, elle conduit cependant à des valeurs tout à fait plausibles. Cela reviendrait à admette qu'en moyenne sur ces données, le flux duodénal de NNA était pour 56 p. 100 d'origine microbienne (37 à 88 p. 100), 38 p. 100 d'origine alimentaire (10 à 60 p. 100) et 6 p. 100 d'origine endogène.

L'efficacité de la synthèse microbienne serait donc de 23,2 g d'azote/kg de MOF soit 145 g de N × 6,25. Compte tenu de la valeur moyenne du rapport MOF/MOD (0,87 sur le fichier) cela correspondrait à une synthèse moyenne de 126 g par kg MOD qui est légèrement inférieure aux 135 g retenus en 1978 ainsi qu'à la valeur moyenne issue d'un récapitulatif bibliographique des mesures *in vivo* de la synthèse à l'aide d'un marqueur spécifique (JOUANY, DURAND, non publié). Cette diminution correspond sans doute à la prise en compte séparée de l'azote endogène dans le modèle présenté ici (tableau 7). Les valeur rete-

TABLEAU 6

Données utilisée pour estimer les flux d'azote non ammonicial à l'entrée de l'intestin grêle

	LABORATOIRES et AUTEURS		nature des régimes (1)	QUANTITES INGEREES MOF (Kg/j)	QUANTITES INGEREES N total (g/KgMOF)	MESURES type de canule(2)	MESURES marqueur (3)	MESURES nbre de bilans	FLUX de NNA (g/Kg MOF) NNA duod	FLUX de NNA (g/Kg MOF) effet laboratoire moyen(5)	FLUX de NNA (g/Kg MOF) E.T.R.(6)
	MOUTONS										
1	HURLEY	THOMSON-BEEVER	FVC, EH, F	0,3 à 0,8	26 à 64	R,DR1	Cr	16	35 à 69	5,2	4,9
2	PALMERSTON	ULYATT	FV, EH	0,4 à 0,5	49 à 66	R,DR1	Cr,CrED	9	42 à 54	6,3	6,6
3	ADELAIDE	EGAN	F, FVC	0,2 à 0,8	30 à 77	R,DR1	CrED,lig	11	20 à 50	-10,7	8,9
4	ALBERTA	KENNEDY-MILLIGAN	F, FD	0,4 à 0,7	24 à 51	R,C,D1,DR1	Ru+CoED	11	37 à 58	-0,2	4,4
5	HANNAH	CHAMBERLAIN-THOMAS	RM (F,EH)	0,3 à 0,6	22 à 58	R,DR1	Cr,PEG	14	23 à 50	0,2	4,3
6	ABERDEEN	ORSKOV	RSS (orge)	0,5 à 0,8	22 à 52	C	Cr	23	27 à 44	-2,6	3,0
7	INRA (Theix)	PONCET	RM (F)	0,3 à 0,8	24 à 77	R,D1,DR1	Cr,PEG, Yb+CrED	40	30 à 58	-1,3	5,2
8	BLACKTOWN	HOGAN-WESTON-FAICHNEY	RM (F)	0,3 à 0,7	22 à 63	R,C	Ru+CrED lig	18	33 à 61	0,4	6,1
	JEUNES BOVINS										
9	OKLAHOMA	ZINN-OWENS	RM (F)	1,4 à 4,4	23 à 77	R,D1	Cr,Lig	48	18 à 65	-6,5	8,4
A	HURLEY	BEEVER	FV	1,1 à 3,6	33 à 76	R,D1	Ru+CrED	17	33 à 65	4,2	7,2
B	NEWCASTLE	ARMSTRONG-ROOKE	RM (EH,F)	1,4 à 2,9	32 à 69	R,DR1	Cr	21	33 à 60	-3,7	3,6
C	SYDNEY	LEIBHOLZ	RSS	0,9 à 2,9	21 à 60	R,C,DR1	Cr,Yb,Ru CrED,Lig	15	18 à 49	-5,6	6,6
	VACHES LAITIERES										
D	WISCONSIN	STERN-SATTER	RM, F, EH	5,9 à 11,5	43 à 66	R,D1	Cr,CrED,Lig La, Sm	27	32 à 73	-0,1	10,5
E	INRA (Rennes)	VERITE-RULQUIN	RM (EM)	3,4 à 10,0	28 à 67	R,D1	Cr,PEG	32	33 à 60	1,8	3,2
F	LELYSTADT	TAMMINGA	RM (30% F)	4,2 à 8,5	29 à 60	R,DR2	Cr,rien	15	38 à 60	4,7	3,0
G	COPENHAGUE	MADSEN-HVELPLUND	RM, RSS	2,0 à 8,8	27 à 64	R,D2	Cr,PEG	24	40 à 64	6,8	6,3
H	ROSTOCK	VOIGT-PIATKOWSKI	RM (EM)	3,8 à 8,4	34 à 54	R,DR2	rien	12	31 à 51	2,3	5,0
I	BRAUNSCHWEIG	ROHR	RM (EM,F)	4,4 à 9,4	31 à 45	R,D1	Cr,PEG,CrED	15	34 à 47	-0,3	3,7
J	KIEL	KAUFMANN-HAGEMEISTER	RM (F), FV	3,8 à 6,2	25 à 49	R,DR2	PEG	15	31 à 48	-2,3	3,0
K	INRA (Rennes)	PEYRAUD-VERITE	FV	5,1 à 8,5	30 à 82	R,D1	Cr,PEG Yb+PEG	22	29 à 51	1,3	5,9

(1) : FV(C) : Fourrages verts (congelés) ; F : foin ; EH : ensilage d'herbe ; FD : Fourrage déshydraté ; EM : ensilage de mais
RM ( ) : Ration mixte (principal fourrage utilisé) ; RSS : ration semi synthétique
(2) : R : rumen ; DR1 : duodénum réentrante proximale ; DR2 : duodénum réentrante après canal cholédoque ; D1 : duodénum simple proximale ; D2 : duodénum simple après canal cholédoque ; C : caillette
(3) : PEG : Polyéthylène glycol ; CrED : complexe CrEDTA ; CoED : Complexe CoEDTA ; Cr : Oxyde de chrome ; Ru complexe Ruthénium-phénantroline Yb : Ytterbium ; Sm : samarium ; La : Lanthanum ; Lig : lignine ; + : Mesure par la technique du double marquage ; rien : Mesure par collecte totale sans correction
(4) : NNA duod : flux d'azote non ammoniacal
(5) : effet moyen de l'équipe (pour le modéle de prédiction des flux retenu) exprimé en gN/Kg Matiére Organique Fermentescible.
(6) E.T.R.: écart type résiduel du laboratoire (dans le modéle retenu)

nues dans les autres systèmes sont proches. L'équation proposée permet de moduler la synthèse microbienne lorque celle-ci est ramenée à la MOD : elle serait d'environ 130 g/kg MOD pour l'herbe verte, les foins et les céréales, de 115 g pour l'ensilage de maïs, de 100 g pour les ensilages d'herbe et le maïs grain, de 105 à 115 g pour les tourteaux et de 65 g pour les farines de produits animaux.

D'après l'équation, les quantités d'azote alimentaire échappant à la dégradation dans le rumen seraient donc égales à 1,11 fois l'azote non dégradable estimé par la méthode des sachets ; la dégradabilité théorique surestimerait donc légèrement la dégradation *in vivo*. Tous les autres systèmes proposés admettent sans contrôle que la dégradation en sachets représente exactement l'ampleur des phénomènes dans le rumen. Le coefficient 5,3 g N par kg MOND indiquerait que la fraction endogène représente approximativement 1,7 g par kg de MS ingérée ; cette valeur est plausible mais peut-être un peu faible comparativement aux estimations les plus souvent retenues dans la littérature (2,5 g/kg MSI selon SIDDONS *et al.*, 1982).

2.2. Un premier test de validité de l'équation de prédiction est fourni par une série récente de mesures des flux duodénaux d'azote total et d'azote microbien effectuée pour déterminer la dégradation *in vivo* de quelques matières premières importantes (PONCET, non publié). Ces dernières apportaient 40 à 70 p. 100 de l'azote d'une ration mixte distribuée à des moutons. Le flux total de N non ammoniacal au duodénum est, dans l'ensemble, correctement prédit à partir des mesures des paramètres DT, MOF et MOND, sauf avec le tourteau de colza (figure 3). Si on excepte ce régime pour lequel la mesure paraît aberrante, l'estimation des flux n'est pas biaisée en moyenne et elle est connue avec une précision de ± 1,2 g (8 p. 100). La prévision, par DT en sachets, de la dégradation mesurée *in vivo* est globalement correcte (figure 3) mais présente cependant quelques écarts, sans doute parce que la mesure *in vivo* a été obtenue par différence.

2.3. Par ailleurs, d'autres paramètres de prédiction ont été testés et comparés avec ceux du modèle retenu :
- le remplacement de MOF par la teneur en MOD permet la même précision, tandis que la teneur en glucides digestibles (= MOD - PF - MG - MAT ; assez voisin du paramètre retenu dans le système danois) conduit à une baisse de précision (CVR = 17 p. 100). La précision est encore beaucoup plus faible (CVR = 18,4 p. 100) avec la teneur en MO digére dans le rumen (MODR) alors qu'*à priori* ce paramètre est généralement considéré comme préférable ; de plus l'efficacité de la synthèse microbienne apparaîtrait alors particulièrement faible (seulement 14 g N/kg MODR).
- le remplacement de la teneur en NNDS par la teneur en N total ingéré ne modifie pas la précision. Cependant, l'emploi de NNDS a permis de diminuer la variabilité résiduelle de 11 des 20 laboratoires retenus et elle ne l'a accrue de façon notable que pour les bilans relatifs aux fourrages verts (ce qui est à relier à notre manque actuel d'information quant aux facteurs de variation de DT). La teneur en azote non fermentescible *in vitro* (NNF) a toujours permis une précision légèrement meilleure.
- le calcul sur la base des données du tableau 6, selon le modèle utilisé en 1978 (fonction de MOD et de NNF) conduit, d'une part à une précision analogue à celle de l'équation retenue ci-dessus et, d'autre part, à des coefficients très voisins de ceux de 1978 (tableau 7).

Cependant, ces comparaisons doivent être interprétées : 1) en tenant compte du fait que certains paramètres (MOD, N ingéré, MODR) ont été réellement mesurés par les auteurs alors que d'autres (MOF et NNDS) ont été extrapolés avec quelque incertitude à partir des valeurs moyennes de Tables, et 2) en conservant à l'esprit que les relations obtenues sur des rations seront ensuite appliquées à des aliments pris individuellement ; un paramètre peut permettre un meilleur classement des aliments sans beaucoup améliorer la prédiction de la ration.

TABLEAU 7

Principales relations obtenues à partir de la base de données bibliographiques (tableau 6)

					n	R2	CV Résiduel
1	NNA duod/MOF	=	23,2 (6.3)	+ 1.11 * NNDS/MOF (0.07) + 5.3 * MOND/MOF (1.8)	405	0,63	14,5
2	NNA duod/MOD	=	22,5 (4.5)	+ 0.62 * NNF/MOF (0.04)	405	0,58	13,7
3	N mic / N degr	=	0,21 (0.13)	+ 16.9 * MOF/N degr (0.5)	405	0,78	14,8
4	NAA duod/NNA duod	=	0.66 (0.05)	+ 0.15 * N alim p 100 (0.07)	142	0,69	7.0
5	N absorbé/ N mic	=	0.81 (0.09)	+ 0.78 * Nalim/Nmic (0.02) - 1.3 * Nendo/Nmic (0.1)	405	0,82	7.3
6	N fécal / MOF	=	4.6 (0.2)	+ 0.22 * NNDS/MOF (0.03) + 9.6 * MOND/MOF (0.7)	135	0,77	14,4

1 NNA duod, MOF, NNDS et MOND sont respectivement, le flux d'azote non ammoniacal au duodénum, la quantité de matiére organique fermentescible, d'azote non dégradable en sachet et de matière organique non digestible
2 NNF : quantité d'azote non fermentescible ingérée. Ce modèle est analogue à celui utilisé en 1978
3 N mic : flux d'azote microbien ; N degr : quantité d'azote dégradé dans le rumen ingérée
4 NAA duod : flux d'azote aminé à l'entrée du duodénum, N alimp100 : proportion d'azote alimentaire dans le flux
5 N absorbé = NNAduod - N fécal ; Nmic (alim)(endo) : flux d'azote microbien (alimentaire)(endogène)
6 N fécal : seuls les bilans effectués sur moutons ont été retenus.

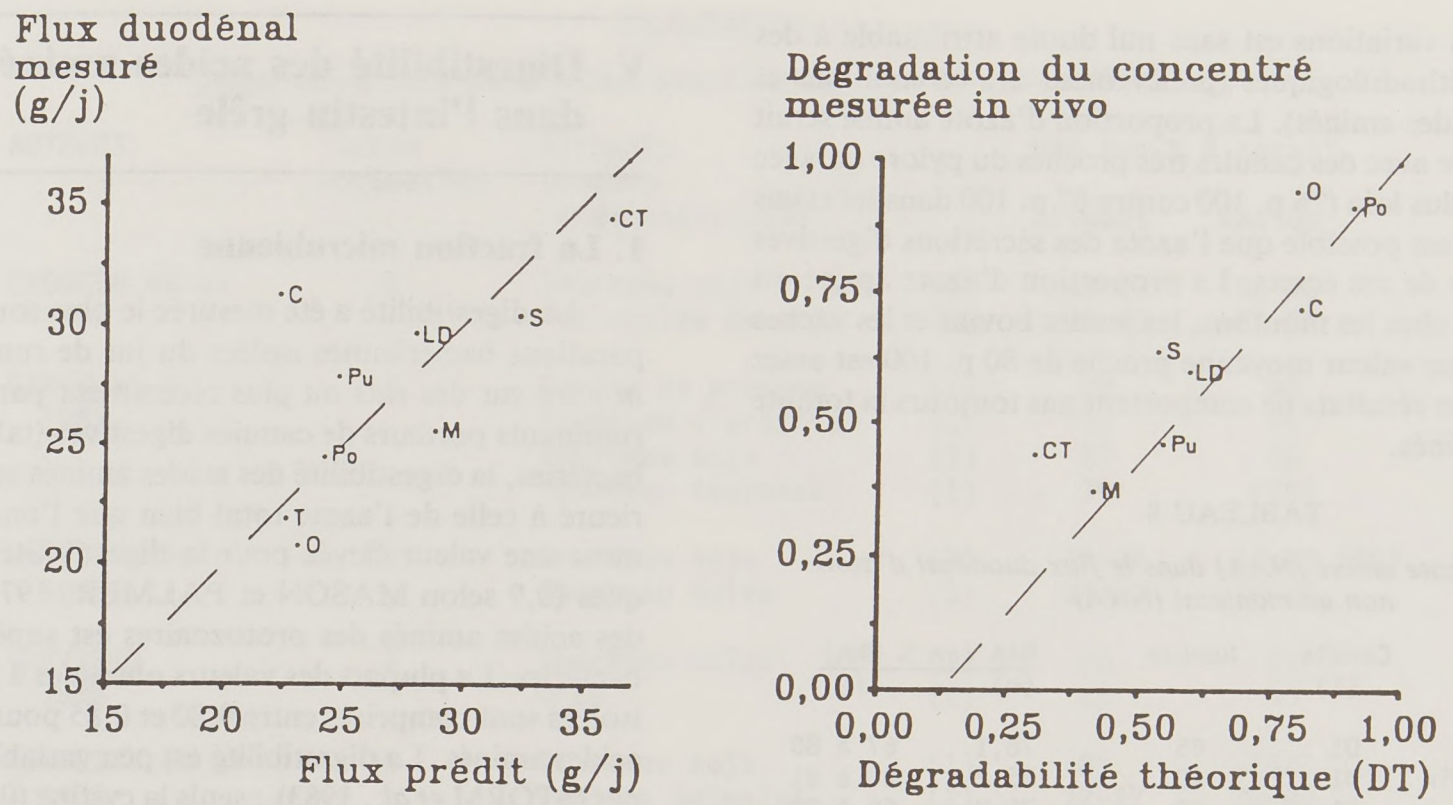


FIG. 3 : *Exemple de prévision du flux duodénal de NNA et de la dégradation de l'azote du concentré.*
(ration témoin (T), ou avec de l'orge (O), du maïs (M), des pulpes de betteraves (Pu), de la luzerne déshydratée (LD), du tourteau de colza (C), de soja (S), ou de colza tanné (CT) ou du pois (Po).

3. Captation de l'azote alimentaire dégradé par les microbes - Recyclage

L'azote alimentaire dégradé (ammoniac et acides aminés) peut être capté, soit directement, soit après recyclage de l'urée issue de l'ammoniac absorbé. La rapport N duodénal microbien / N alimentaire dégradé représente un taux de captation apparent et non pas réel (figure 4). En effet il surestime la captation puisqu'une partie de l'azote microbien peut provenir de l'urée issue du catabolisme des acides aminés. Un taux réel de captation maximum de 0,90 a été retenu pour tenir compte des pertes inévitables. En effet, une partie de l'azote dégradé peut être sous des formes peu ou pas utilisables par les microbes et une légère perte inévitable (transit digestif, perte urinaire) pourrait bien exister même en situation de fort déficit à cause d'un défaut de synchronisation entre les disponibilités en énergie et en azote. Une hypothèse analogue a déjà été proposée par SATTER et ROFFLER (1975) et par le NRC (1985). Exceptionnellement, ce taux de captation pourrait cependant être un peu supérieur à 0,90 en cas de très fort déficit. Par contre, il sera très fréquemment nettement inférieur lorque l'apport d'azote dégradable excède le niveau d'apport énergétique. Pour les sources industrielles d'azote non protéique (urée, ammoniac) on a supposé que le taux de captation était inférieur de 20 % du fait de la rapidité de leur libération et parce qu'elle pourrait être utilisée moins efficacement en l'absence d'acides aminés. L'urée recyclée à partir du pool d'acides aminés sanguins ne doit pas être prise en compte dans la valeur PDIMN des aliments car alle a déjà été comptabilisée dans la fourniture d'acides aminés alimentaires et microbiens et surtout son importance potentielle dépend essentiellement du taux de satisfaction des besoins en acides aminés de l'animal. Son incidence sera prise en compte en tolérant un déficit d'apport d'azote dégradable plus ou moins important selon les situations (tableau 3).

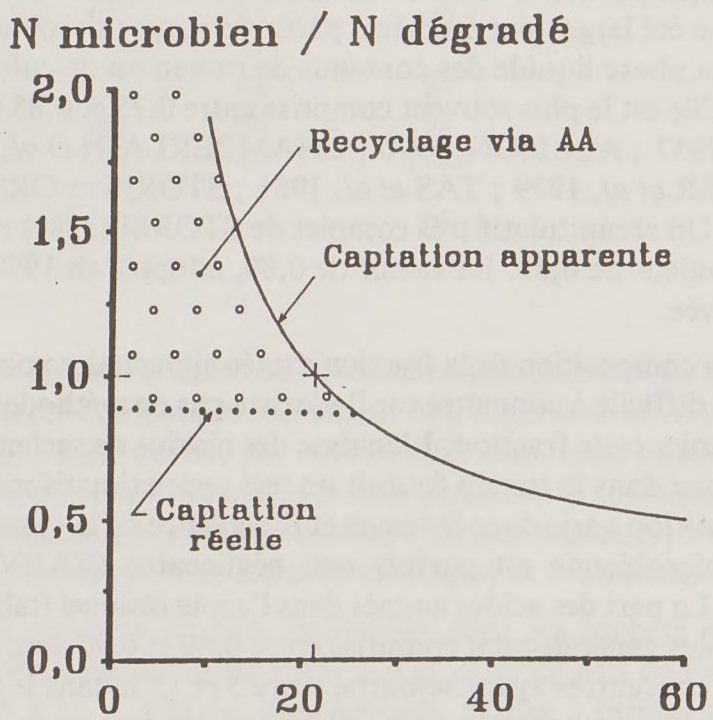


FIG. 4 : *Captation de l'azote alimentaire degradé pour la synthèse microbienne et recyclage d'azote.*

IV. Composition des matières azotées duodénales

La proportion d'azote aminé dans le flux azoté non ammoniacal au duodénum apparaît très variable. Les valeurs moyennes les plus souvent citées varient entre 70 p. 100 (HVELPLUND, 1987 ; ROHR *et al.*, 1986) et 80 p. 100 (NRC, 1985). Un récapitulatif non exhaustif issu du fichier précédent et portant sur 181 rations d'origine diverses fait apparaître des écarts importants entre équipes : moyennes allant de 57 à 90 p. 100.

Une partie des variations est sans nul doute attribuable à des différences méthodologiques (prélèvement des échantillons et analyse des acides aminés). La proportion d'azote aminé serait ainsi plus élevée avec des canules très proches du pylore qu'avec celles placées plus loin (76 p. 100 contre 67 p. 100 dans les essais sur vaches), il est possible que l'azote des sécrétions digestives soit à l'origine de ces écarts. La proportion d'azote aminé est très semblable chez les moutons, les jeunes bovins et les vaches (tableau 8). Une valeur moyenne proche de 80 p. 100 est assez probable car les résultats ne comportent pas toujours la totalité des acides aminés.

TABLEAU 8

Proportion d'azote aminé (NAA) dans le flux duodénal d'azote non ammoniacal (NNA)

Animal	Canule (1)	Nombre	NAA (en % NNA) (m)	(e)
mouton	D1	45	76,1	67 à 80
jeune bovin	D1	40	75,2	68 à 91
vache	D1	40	75,8	69 à 80
vache	D2	52	67,3	60 à 76

(1) D1 = duodénum proximal
D2 = duodénum proche du canal cholédoque
(m) = moyenne
(e) = extrêmes entre équipes

La proportion d'azote aminé dans la fraction azotée microbienne a été largement étudiée à partir de corps microbiens isolés de la phase liquide des contenus de rumen ou de cultures *in vitro*. Elle est le plus souvent comprise entre 0,75 et 0,85 (WELLER, 1957 ; ALLISON, 1970 ; CHAMBERLAIN *et al*, 1976 ; SALTER *et al*, 1979 ; TAS *et al*, 1981 ; STORM et ORSKOV, 1983). Un récapitulatif très complet de STORM (1982) conduit à une valeur de 0,83. La valeur de 0,80, adoptée en 1978, a été conservée.

La composition de la fraction azotée alimentaire non dégradée est difficile à connaître car il n'existe pas de méthode directe pour isoler cette fraction. L'analyse des résidus de sachets après un séjour dans le rumen fournit un test approximatif mais leur composition varie dans le temps et l'incidence de la contamination microbienne est parfois non négligeable (VARVIKKO, 1986). La part des acides aminés dans l'azote résiduel (tableau 9) est le plus généralement comprise entre 0,80 et 0,90 avec des aliments concentrés ayant séjourné entre 5 et 15 h dans le rumen. La valeur pourrait être plus faible avec les fourrages.

Cependant, la proportion d'azote sous forme aminée dans l'ensemble des protéines duodénales pourrait signifier que la fraction alimentaire est plus riche en acides aminés qu'indiqué par les résidus de sachets. En effet, dans le fichier utilisé précédemment cette proportion augmente légèrement avec la teneur en azote non dégradable de la ration. De plus dans certains essais, le remplacement de l'urée par des tourteaux a parfois accru la proportion relative d'azote aminé.

Comme en 1978, la valeur retenue pour la part relative des acides aminés dans les protéines non dégradées a été maintenue à 1, valeur sans doute légèrement par excès mais que les incertitudes précédentes ne permettaient pas d'affiner.

V. Digestibilité des acides aminés dans l'intestin grêle

1. La fraction microbienne

La digestibilité a été mesurée le plus souvent avec des préparations bactériennes isolées du jus de rumen ou de cultures *in vitro* sur des rats ou plus récemment par infusion chez des ruminants porteurs de canules digestives (tableau 10). Pour les bactéries, la digestibilité des acides aminés est légèrement supérieure à celle de l'azote total bien que l'on admette généralement une valeur élevée pour la digestibilité des acides nucléiques (0,9 selon MASON et PALMER, 1971). La digestibilité des acides aminés des protozoaires est supérieure à celles des bactéries. La plupart des valeurs obtenues à partir des bactéries isolées sont comprises entre 0,80 et 0,85 pour la digestibilité des acides aminés. La digestibilité est peu variable entre acides aminés (STORM *et al.*, 1983) ; seuls la cystine (0,73) et l'acide DAP (0,36) ont une digestibilité plus faible (cf aussi ELLIOT et LITTLE, 1977). Cependant, ces mesures effectuées sur les bactéries isolées du rumen pourraient conduire à surestimer la digestibilité *in situ*. En effet, la fraction microbienne transitant effectivement à l'entrée de l'intestin est sans doute plus riche en parois (bactéries lysées ou adhérentes à des particules alimentaires) donc la digestibilité serait plus faible (ALLISON, 1970 ; TONG et FISHER, 1976) comme l'indique aussi la faible digestibilité du DAP.

La digestibilité a pu également être évaluée indirectement par une technique de régression multiple de la quantité d'azote absorbée dans l'intestin sur le flux d'N alimentaire et microbien à l'entrée de l'intestin : 0,73 sur l'intestin grêle chez ZINN et OWENS (1982) et 0,81 sur l'intestin total à partir de l'analyse de notre fichier (tableau 10). On a donc retenu 0,80 comme valeur de la digestibilité réelle de la fraction microbienne au lieu de 0,70 en 1978.

2. La fraction alimentaire

La digestibilité réelle dans l'intestin (dr) des protéines alimentaires varie entre aliments, sans doute dans une large fourchette, mais il n'existe pas de méthode de mesure directe. Cependant la technique des sachets de nylon mobiles dans l'intestin pourra fournir à l'avenir un index relatif d'appréciation.

Comme en 1978, la digestibilité réelle (dr) des protéines alimentaires ou plus exactement la quantité de protéines alimentaires non digérées dans l'intestin grêle (PANDI) ont été obtenues à partir d'une analyse mathématique des quantités totales de matières azotées non digestibles (MAND) retrouvées dans les fèces. L'hypothèse sous-jacente est que la fraction alimentaire non digérée à la fin de l'intestin grêle se retrouve en totalité dans les fèces, ce qui est très vraisemblable. L'analyse de 1978 reposait sur un ensemble homogène de fourrages verts ; son extrapolation à tous les types d'aliments pouvait être sujette à discussion. Une nouvelle analyse a donc été effectuée sur le fichier précédemment cité, comportant une grande variété de régimes mais en ne retenant que les bilans de N fécal sur moutons (n = 135). En effet, la relation est destinée à être utilisée avec les valeurs MAND des tables qui sont issues en totalité de mesures sur moutons. Le modèle retenu a été le même que pour le flux de NNA duodénal ; les fractions azotées microbienne, alimentaire et endogène ont été indexées respectivement sur MOF, NNDS et MOND. La relation obtenue est :

TABLEAU 9

Proportion d'azote aminé (NAA) dans l'azote résiduel des sachets de nylon

AUTEURS	Durée incubation	Aliments (nombre d'échantillons)		NAA (en % N total) Aliment	Résidu
CROOKER et al 1986	12	Tourteau soja divers	(6)	83-89	82-93
		Pellicules de soja	(3)	83-87	85-87
GANEV et al 1983	9	Farine de poisson	(1)	80	88
		Tourteau d'arachide	(1)	83	81
		Tourteau soja	(1)	87	86
		Tourteau tournesol	(1)	79	(70)
VARVIKKO et al 1983	12	Tourteau soja	(3)	72-78	84-88 (66)
		Tourteau colza	(3)	80-87	78-86
VARVIKKO 1986	5	Tourteau colza	(1)	86	81
		Orge	(1)	85	86
HENNESSY et al 1983	15	Tourteau soja	(1)	85	(62)
		Farines animales	(2)	72-77	78-80
		Tourteau coton	(2)	77-79	79-80
		Pulpes agrumes	(1)	83	78
BRONGNIARD 1985	7	Tourteau soja	(2)		85-90
		Gluten	(2)		79-80
		Farine de sang	(1)		88
TELLER et al 1985	8	Tourteau soja	(1)	93	89
		Pruteen	(1)	77	89
RULQUIN - LE HENAFF (non publié)	15	Tourteau soja	(1)	83	87
		Concentré "céréales"	(1)	85	91
		Concentré "cellulose"	(1)	89	(72)
Moyenne			(33)		85 (1)

(1) à l'exception des valeurs entre parenthèses

MAND = 28,9 MOF + 0,216 (NNDS × 6,25) + 60,0 MOND. Elle est très proche de celle de 1978. La digestibilité réelle des protéines alimentaires de chaque matière première est donc calculée en retour par :

$$PANDI = MAND - 28{,}9\ MOF - 60{,}0\ MOND \text{ et}$$

$$dr = \frac{1{,}11 \times (NNDS \times 6{,}25) - PANDI}{1{,}11 \times (NNDS \times 6{,}25)}$$

Les valeurs de dr ont été calculées pour chaque catégorie d'aliments figurant dans les Tables et arrondies à 0,05 unité près. Les valeurs retenues sont indiquées dans le tableau 5.

Il convient de noter que la relation précédente indiquerait une perte d'environ 2,4 g N par kg de MS ingérée puisque en moyenne sur le fichier MOND/MS = 0,25. Par ailleurs le coefficient 28,9 (soit 4,62 g N microbien non digestible par kg MOF) est tout à fait cohérent avec l'efficacité de la synthèse (23,2 g N/kg MOF), et la digestibilité (0,80) retenues :

23,2 × 0,2 = 4,64 g N.

La technique des sachets de nylon mobiles dans l'intestin n'a pas été retenue car les données disponibles sont actuellement trop peu nombreuses (HVELPLUND, 1985 ; RAE et SMITHARD, 1985 ; VOIGT *et al.*, 1985 ; DE BOER *et al.*, 1986 ; PEYRAUD *et al.*, ci-après). Néanmoins, elle a permis une certaine validation de la méthode indirecte employée ci-dessus. Dans cette technique, l'aliment est enfermé dans un sachet de nylon ; après avoir subi une phase de digestion dans le rumen puis une hydrolyse analogue à celle de la caillette, il est introduit par une canule dans l'intestin où il transite librement puis est récupéré dans les bouses. L'azote du résidu constitue un index de la quantité d'azote alimentaire réellement non digestible *in vivo*. Cette technique a été utilisée par PEYRAUD *et al.* (non publié) pour tester 39 aliments : 6 céréales et sous-produits, 15 tourteaux, graines oléagineuses et sous-produits, 4 farines animales, 9 fourrages (vert, déshydraté, foins et ensilages) et 5 aliments divers.

La quantité de MA résiduelles dans les sachets mobiles (SMIRP) a été comprise entre 1,6 et 25 g/kg MS de l'aliment soit 0,5 à 11 p. 100 des MA initiales. Seules 2 farines de produits animaux et les pulpes de raisin ont donné des valeurs très supérieures (73 à 105 g/kg MS) (cf tableau 11).

La liaison entre les valeurs mesurées de SMIRP et les valeurs de PANDI calculées à partir des Tables est bonne pour une majorité d'aliments sauf quelques uns (farine de viande, son) pour lesquels l'incertitude sur la valeur de PANDI est probablement élevée. Par ailleurs, la relation calculée sur les aliments concentrés (n = 25) :

MAND estimée = 1,47 SMIRP + 34,8 MOD + 41,0 MOND

R^2 = 0,98 indiquerait bien que SMIRP, comme DT au niveau du rumen, n'est qu'un index relatif et non pas une mesure exacte puisqu'il est affecté d'un coefficient multiplicatif voisin de 1,5. Les digestibilités calculées avec ce coefficient sont en assez bon accord avec les dr retenues précédemment (R^2 = 0,60 ; cf figure 5).

TABLEAU 10

Digestibilité vraie de l'azote microbien

Technique de Mesure	Préparation microbienne utilisée	DIGESTIBILITE VRAIE N total bactéries	N total protozoaires	N aminé bactéries	Références
1 - Distribution à des monogastriques					
Rat	B.I.R.(1)	0,55	0,86		Johnson et al (1944)
Rat	B.I.R.	0,73			Mc Naught et al (1950)
Rat	B.I.R.	0,74	0,91		Mc Naught et al (1954)
Rat	B.I.R.	0,76			Abdo et al (1964)
Rat	B.I.R.	0,75	0,87		Bergen et al (1968b)
Rat	B.I.R.	0,80		0,82	Mason et Palmer (1971)
2 - Infusion de protéines bactériennes marquées					
14C/mouton (2)	E.Coli	0,85			Hoogenraad et al (1970)
14C/mouton (2)	B.Subtilis	0,91			Hoogenraad et al (1970)
14C/rat (2)	E.Coli	0,85			Tong et Fisher (1976)
35S/mouton (3)	B.I.R.			0,74	Bird (1972)
35S/mouton (4)	B.I.R.			0,72	Elliot et Little (1977)
35S/bovin (3)	B.I.R.	0,83			Salter et Smith (1977)
15N/bovin (5)	B.I.R.	0,80			Salter et Smith (1977)
3 - Infusion de protéines bactériennes non marquées, mesure par différence au flux témoin					
mouton	B.I.R.			0,87	Tas et al (1981)
mouton	B.I.R.	0,82		0,85	Storm et al (1983)
mouton	B.I.R.	0,78		0,85	Hvelplund (1985)
4 - Calcul par regression (AA absorbés = a * flux aliment + b * flux microbe + c)					
bovin (6)	136 bilans	0,73			Zinn et Owens (1982)
mouton + bovin + VL (7)	367 bilans	0,80			Peyraud et Vérité (non publié)

(1) : Bactéries (et protozoaires) isolés du Rumen
(2) : Bactéries marquées au Carbone 14 , la digestibilité mentionnée est celle de la MO microbienne totale
(3) : Bactéries marquées avec du Soufre 35 inorganique
(4) : Le soufre 35 est déterminé uniquement dans la Cystine
(5) : Bactéries marquées avec de l'Azote 15
(6) : Acides aminés absorbés dans l'intestin grêle, le flux d'azote microbien est calculé à partir de la teneur en acide nucléique des contenus duodénaux. La digestibilité de la fraction alimentaire est égale à 0,68
N absorbé = 0.73 * flux microbes + 0.68 flux aliment - 3
(7) : Acides aminés absorbés dans l'ensemble du tube digestif, le flux d'azote microbien est indexé sur la MOF et le flux alimentaire sur NNDS. La digestibilité de la fraction alimentaire est égale à 0,78
N absorbé = 0.81 flux microbes + 0.78 flux aliment - 1.3 flux endogéne

TABLEAU 11

Teneur en matières azotées résiduelles des aliments estimée par la technique des sachets mobiles

ALIMENTS	n	MA résiduelles(1) (g/Kg MS)	(% MAT)	ALIMENTS	n	MA résiduelles(1) (g/Kg MS)	(% MAT)
Blé	1	2,0	1,6	Tourteau Soja/Colza français	2	8,4	1,8
Maïs	1	2,0	1,9	Tourteau Tournesol	1	6,1	1,5
Orge	1	2,6	2,6	Tourteau Germe de maïs	1	11,0	4,5
Son	1	8,9	6,3	Pellicules Arachide	1	24,4	38,0
Corn gluten feed	1	8,2	4,2	Soja	1	17,5	14,6
Corn gluten meal	1	0,8	0,1	Tournesol	1	18,9	33,0
Drèches de brasserie	1	15,1	4,9	Pulpes d'Agrumes déshydratées	1	1,6	1,9
Drèches de blé	1	9,6	3,1	Pulpes de Raisin	1	105.7	68,4
Graines de Colza	1	11,3	5,0	Farine de Viande	2	85,0	14,0
Soja	1	1,8	0,5	Poisson	1	24,6	3,3
Féverole	1	2,9	0,9	Pulpes de bettraves déshydratées	1	4,9	5,5
Tourteau Arachide	1	4,5	0,9	Luzerne déshydratée	1	12,5	8,3
Tourteau Arachide traité	1	7,1	1,3	Maïs déshydraté	1	9,7	7,2
Tourteau Coprah	1	11,0	4,7	Herbe verte	2	4,4	2,1
Tourteau Colza	1	24,6	6,3	Foin	2	10,3	7,1
Tourteau Coton	1	6,8	1,4	Ensilage d'herbe	2	6,4	3,3
Tourteau Lin	1	20,9	5,2	Ensilage de maïs	1	6,0	7,2
Tourteau Soja	1	2,4	0,5				

(1) : les résultats sont exprimés en g/Kg de la MS ou en % de MAT de l'aliment initial

PEYRAUD et al (non publié)

VI. Besoins des animaux

L'approche factorielle classique, généralement utilisée dans les systèmes étrangers, n'a pas été retenue car, reposant sur des déterminations indépendantes des différentes pertes azotées et du rendement d'utilisation métabolique des acides aminés, elle peut conduire à des erreurs et des biais non négligeables. Comme en 1978, les bases des besoins sont en fait toutes issues d'essais d'alimentation comparant chacun différents apports azotés. A cet effet, des récapitulatifs ont été effectués par espèce (bovins, ovins, caprins) et pour chaque état physiologique (entretien, gestation, lactation et croissance) ; ils regroupent des essais de plusieurs stations INRA parfois en nombre suffisant (ex : production laitière des vaches) ou incluent aussi des données bibliographiques. Dans ces essais, les apports azotés ont été recalculés en terme de PDI à partir des Tables, en prenant en compte les caractéristiques connues des aliments.

Les besoins d'entretien ont été estimés à partir des relations entre apports de PDI et bilans azotés mesurés sur des animaux "non producteurs" exprimés sur la base du poids métabolique. On a admis que le besoin d'entretien correspondait à l'apport PDI permettant un bilan N légèrement positif pour tenir compte des pertes insensibles d'azote par les phanères (laine...). Pour les bovins, la valeur de 1978 a été conservée, alors que pour les ovins (cf THERIEZ *et al.*, 1987, dans ce numéro) et les caprins (MORAND-FEHR *et al.*, 1987, dans ce numéro) des valeurs nouvelles ont été estimées. Par ce mode de détermination, les besoins d'entretien incluent aussi en réalité ceux afférant à l'activité de digestion (pertes endogènes fécales) ; toutefois, cette dépense peut être relativement variable selon la digestibilité de la ration utilisée. De même les besoins de production prennent aussi en compte le supplément des dépenses de digestion entraînées par une ingestion plus élevée.

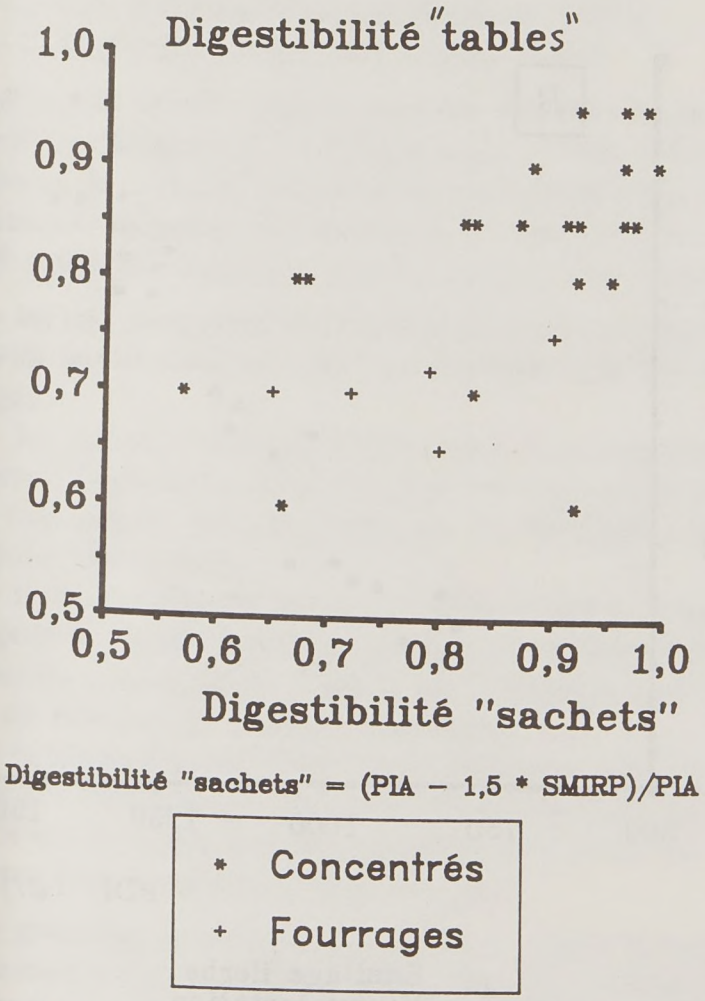


FIG. 5 : *Comparaison des digestibilités retenues (estimées par calcul à partir des PANDI) et celles estimées par la méthode des sachets mobiles dans l'intestin grêle.*

Les besoins de gestation ont été recalculés selon le même principe à partir de bilans N mesurés sur des brebis gestantes ; ils ont été fixés à chaque stade pour correspondre à la quantité de protéines normalement déposées selon le poids de fœtus (cf THERIEZ *et al*, 1987, dans ce numéro). Ces données ont été extrapolées aux caprins alors que les valeurs de 1978 ont été reconduites pour les bovins.

Les besoins de production sont estimés à partir de la quantité de protéines secrétées dans le lait ou déposées dans le croît et du rendement d'utilisation métabolique des PDI (RUM) à l'optimum : besoin PDI = Protéines produites/RUM. L'estimation des quantités de protéines déposées a été actualisée (GEAY *et al.*, 1987, dans ce numéro). Les rendements d'utilisation métabolique optimum sont issus d'essais de production comparant différents niveaux d'apport PDI. Dans chaque essai, le rendement retenu était celui correspondant au niveau d'apport PDI optimum c'est-à-dire celui en dessous duquel les performances des animaux commençaient à baisser de façon appréciable.

Ainsi, pour la production laitière des vaches, 24 essais comportant 2 ou le plus souvent 3, voire 4 niveaux d'apports azotés ont été utilisés (VERITE *et al.*, 1982 et non publié). Dans chaque essai, la comparaison portait sur la nature ou la quantité de tourteaux ou sur la quantité d'urée. Les différents lots d'un même essai recevaient soit la même quantité de concentré lorsque le fourrage était à volonté (9 essais) soit la même quantité de ration totale lorsque celle-ci était limitée. Les lots comportaient de 6 à 15 vaches en début (n = 9) ou en milieu de lactation (n = 15) qui produisaient en moyenne entre 15 et 34 kg de lait ; les régimes étaient à base d'ensilage d'herbe (n = 5) ou de maïs (n = 19). La réponse de production de protéines est montrée dans la figure 6 pour l'ensemble des lots et pour les lots optimum retenus selon le critère précédemment indiqué. Le rendement d'utilisation métabolique des PDI pour la production du lait a été défini comme le rapport protéines du lait/(apport PDI - besoin entretien). Il a aussi été calculé en tenant compte des variations de poids.

Rendement d'utilisation métabolique des PDI	Moyenne d'écart type	Extrêmes
$\frac{\text{Protéines du lait}}{\text{Apport PDI} - \text{Entretien}}$	$0{,}639 \pm 0{,}028$	$0{,}59 - 0{,}69$
$\frac{\text{Protéines de lait (+ protéines déposées)*}}{\text{Apport PDI} - \text{Entretien (+ protéines mobilisées)*}}$	$0{,}634 \pm 0{,}030$	$0{,}58 - 0{,}69$

* supposées égales à 10 % des changements de poids (corrigés pour les variations d'ingestion).

Le rendement de 0,64 a donc été retenu pour les protéines du lait de vache. Les bases sont données par ailleurs pour les brebis laitières (BOCQUIER *et al.*, 1987, dans ce numéro) et pour les jeunes bovins en croissance (GEAY *et al.*, 1987, dans ce numéro) pour lesquels des rendements différents ont été admis selon l'état physiologique des animaux.

Conclusions

Les principales modifications par rapport à 1978 concernent donc :
- la nature des paramètres descriptifs des aliments ; la dégradabilité théorique en sachets (DT) remplace la fermentescibilité *in vitro* ou la solubilité et la matière organique fermentescible (MOF) remplace la matière organique digestible. Cela permet de mieux moduler l'efficacité de la synthèse microbienne et aussi d'obtenir un classement plus correct des aliments ;
- les valeurs de certains coefficients fixes : ceux relatifs aux nouveaux paramètres ainsi que le taux de captation de l'azote dégradable (0,9 au lieu de 1) et la digestibilité de l'azote microbien (0,8 au lieu de 0,7) ;
- les besoins des animaux qui ont légèrement baissé pour l'entretien des ovins et des caprins et pour la production de lait des vaches ou qui ont été mieux ajustées pour la croissance du jeune bovin ;
- le déficit PDIN tolérable qui a été modulé selon les situations et permet de mieux tenir compte du recyclage.

Globalement les changements sont assez faibles pour la valeur PDIN des aliments. Par contre, la valeur PDIE est assez souvent diminuée surtout pour les ensilages d'herbe (−5 à −25 p. 100), les graines protéagineuses, les fourrages verts et certains tourteaux (soja, colza, tournesol...). Le déficit des rations en PDIN apparaîtra donc moins fréquent et plus faible que précédemment, d'autant plus que les tolérances ont été mieux précisées ; ceci est en accord avec les observations pratiques. La baisse de la valeur PDIE affecte modérément les quantités de supplément azoté requises dans les rations classiques car simultanément les apports recommandés ont été légèrement abaissés.

Les progrès apportés par cette révision pourraient paraître modestes si on considérait uniquement les aliments et les rations les plus courants. Cependant, les nouvelles valeurs conduisent à un classement beaucoup plus fiable de tous les aliments car elles reposent sur des méthodes plus élaborées et sur beaucoup plus de données ; ces changements permettent aussi un rationnement plus affiné même dans les situations moins courantes.

Il reste néanmoins à mieux connaître les variations de la dégradabilité de l'azote à l'intérieur de chaque catégorie de fourrages. Par ailleurs, la mesure de la dégradabilité théorique en sachets est une méthode lourde et très onéreuse, qui ne peut être effectuée que dans un très petit nombre de laboratoires "de référence". Pour les analyses de série, le recours à des méthodes de laboratoire plus simples est nécessaire. La mise au point d'une méthode de dégradabilité enzymatique et l'étalonnage ont été pratiquement réalisés (J. AUFRERE cité par SAUVANT *et al.*, 1987, dans ce numéro) et les relations de prédiction des valeurs PDI sont en cours d'élaboration et devraient être bientôt disponibles.

REMERCIEMENTS

Cette révision est le fait d'une réflexion et d'un travail d'équipe. Nous tenons à remercier : J. AUFRERE, L. BERNARD, C. DEMARQUILLY, M. DURAND, Y. GEAY, P. FAVERDIN, R. JARRIGE, J.P. JOUANY, M. JOURNET, P. LE GOFFE, M. PETIT, H. RULQUIN et D. SAUVANT qui ont participé à des degrés divers à ce travail.

Références bibliographiques

La liste est disponible auprès des auteurs.

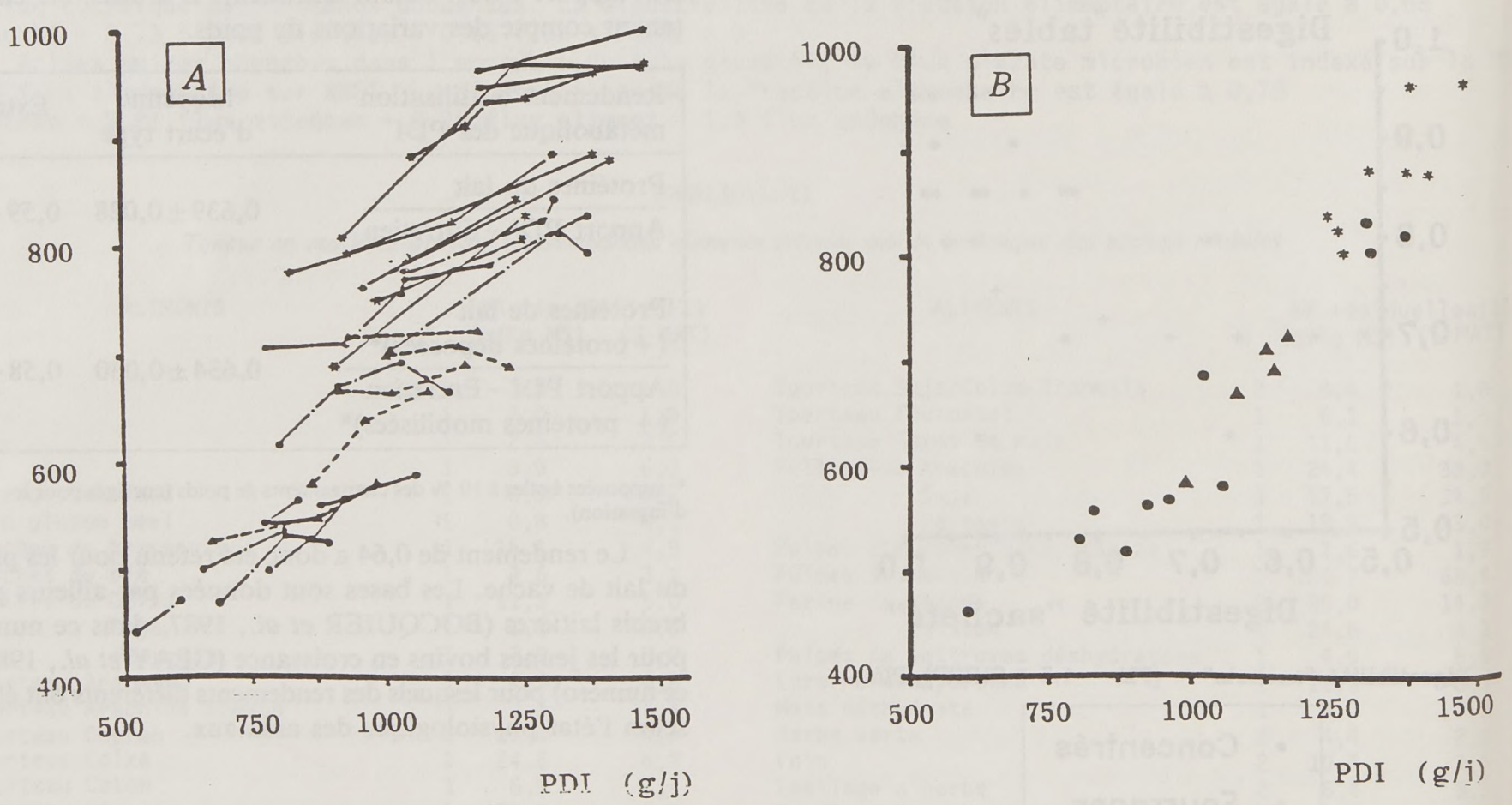


FIG. 6 : *Réponse de la production de protéines à différents niveaux d'apports PDI (24 essais sur vaches laitières).*
(a = ensemble des lots b = lots à l'optimum d'apport).

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 35-48

Révision du système des Unités d'Encombrement (UE)

J.P. DULPHY, Ph. FAVERDIN *, D. MICOL **, F. BOCQUIER ***

INRA-CRZV Theix, Laboratoire des Aliments, 63122 Ceyrat.
** INRA-St Gilles, Station de Recherches sur la Vache laitière, 35590 L'Hermitage.*
*** INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Production de Viande, 63122 Ceyrat.*
**** INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Production Ovine, 63122 Ceyrat.*

Le système des Unités d'Encombrement (UE) a pour objectif d'exprimer et de prévoir à la fois **l'ingestibilité** des aliments (quantité de MS ingérée, mesurée sur un animal standard et exprimée en g/kg $P^{0,75}$) et **la capacité d'ingestion** des ruminants domestiques. Il a été proposé tout d'abord dans l'ouvrage sur l'Alimentation des Ruminants (INRA, 1978), puis amélioré peu après (JARRIGE *et al.*, 1979) pour tenir compte de la spécificité des bovins. Deux unités avaient alors été définies :

— l'Unité d'Encombrement Moutons (UEM) ;
— l'Unité d'Encombrement Bovins (UEB).

Enfin, une version anglaise incluant de nouvelles précisions a été publiée récemment (JARRIGE *et al.*, 1986). Les objectifs et les bases du système ont été largement développés dans ces documents et ne seront pas repris ici. Le système mis au point en 1979 comportait plusieurs défauts, en particulier les suivants :

— les relations entre les quantités ingérées par les ovins et les bovins avaient été calculées en incluant tous les types de fourrages,

— les valeurs UEB des foins avaient été surévaluées, car les écarts d'ingestibilité observés chez les ovins entre fourrage vert et foin avaient été transposés aux bovins pour lesquels ils sont moins importants,

— la loi de variation du taux de substitution fourrage/concentré pour les vaches laitières ne prenait pas en compte le niveau d'apport du concentré par rapport aux besoins de l'animal, en raison du manque de données disponibles,

— la valeur d'encombrement du concentré avait été calculée pour des vaches ayant une production laitière journalière de 17 kg de lait et ne pouvait pas être appliquée au niveau individuel pour tous les niveaux de production.

Le principal problème lors de la première parution du système était le manque de données sur bovins. L'évolution des connaissances et la mise en place de nouveaux essais permettent maintenant de proposer des améliorations. Nous savons, en particulier, que les relations entre les quantités ingérées par les ovins et les bovins, qui permettent de généraliser aux bovins le nombre considérable d'observations faites chez les ovins, doivent être calculées par type de fourrage (fourrages verts, ensilages d'herbe, foins, en excluant des fourrages particuliers tels que les ensilages de maïs, les pailles, etc...). Il existe en effet des réactions différenciées des animaux face à différents fourrages pour des raisons diverses (appétence, besoins, effet de la saison qui diminue la capacité d'ingestion des moutons standards en jours courts) (MICHALET-DOREAU et GATEL, 1983).

Par ailleurs, les nombreux essais réalisés récemment permettent de préciser les quantités ingérées par des animaux forts producteurs (vaches laitières), en choisissant la génisse frisonne de 400 kg comme bovin à performances moyennes.

I. Expression de l'ingestibilité de l'herbe de référence et de celle des fourrages verts en UE

Le fourrage de référence, c'est-à-dire l'herbe au stade du pâturage, est maintenu, avec une ingestibilité mesurée chez le mouton standard, (mâle castré de race Texel âgé de 2 ans et pesant 60 kg), de 75 g de MS par kg de poids métabolique ($P^{0,75}$). Les caractéristiques de ce fourrage ne changent pas (JARRIGE *et al.*, 1979), et, par définition, un kg de matière sèche de cette herbe a une valeur d'encombrement de une unité pour le mouton. On calcule ensuite la valeur d'encombrement mouton de la façon suivante :

$$(1)\ \text{valeur UEM} = \frac{75}{\begin{array}{c}\text{quantité de fourrage ingéré}\\ \text{par le mouton standard}\\ \text{en g MS/kg } P^{0,75}\end{array}} = \frac{75}{\text{QIM}}$$

Dans la première version du système, c'est une vache laitière produisant 17 kg de lait, vers le 4e mois de lactation, qui avait été retenue comme bovin standard. Cette valeur de 17 kg correspondait à la production des vaches laitières utilisées par DEMARQUILLY et WEISS (1971) pour mesurer l'ingestibilité de fourrages verts. Pour tenir compte de l'amélioration de la production laitière obtenue par la sélection génétique au cours des deux dernières décennies, de nouvelles mesures de quantités ingérées de fourrage vert à l'auge ont été faites en 1985 et 1986 avec des animaux produisant environ 25 kg de lait à 4 % de matières grasses vers le 4e mois de lactation, et pesant 600 kg. Parallèlement dans ces essais des mesures de quantités ingérées ont été réalisées sur des génisses de race Pie noire, âgées de 16-18 mois et pesant 400 kg. Les premiers résultats concernant les comparaisons moutons-vaches-génisses ont été rapportés par DULPHY et D'HOUR (1987). L'ensemble des résultats devrait être publié par ailleurs (DULPHY et DEMARQUILLY, non publié) et nous n'en donnerons ici que les principales conclusions. Notons simplement que l'herbe était coupée chaque jour et que les résultats ont été regroupés par lots d'animaux et par semaine.

1. Génisses Pie noires

On dispose de 31 comparaisons entre les génisses et les moutons (11 faites à Theix par DULPHY et MICHALET-DOREAU, 1983 ; 10 à Orcival en 1985 et 1986 ; 6 à Marcenat en 1985 ; 4 à Laqueuille en 1986). Les mesures ont été réalisées dans les mêmes conditions que pour les vaches, mais les animaux n'ont pas reçu d'aliment concentré.

Les quantités ingérées par les génisses (QIG) et les moutons (QIM) ont été liées de la façon suivante (figure 1) :

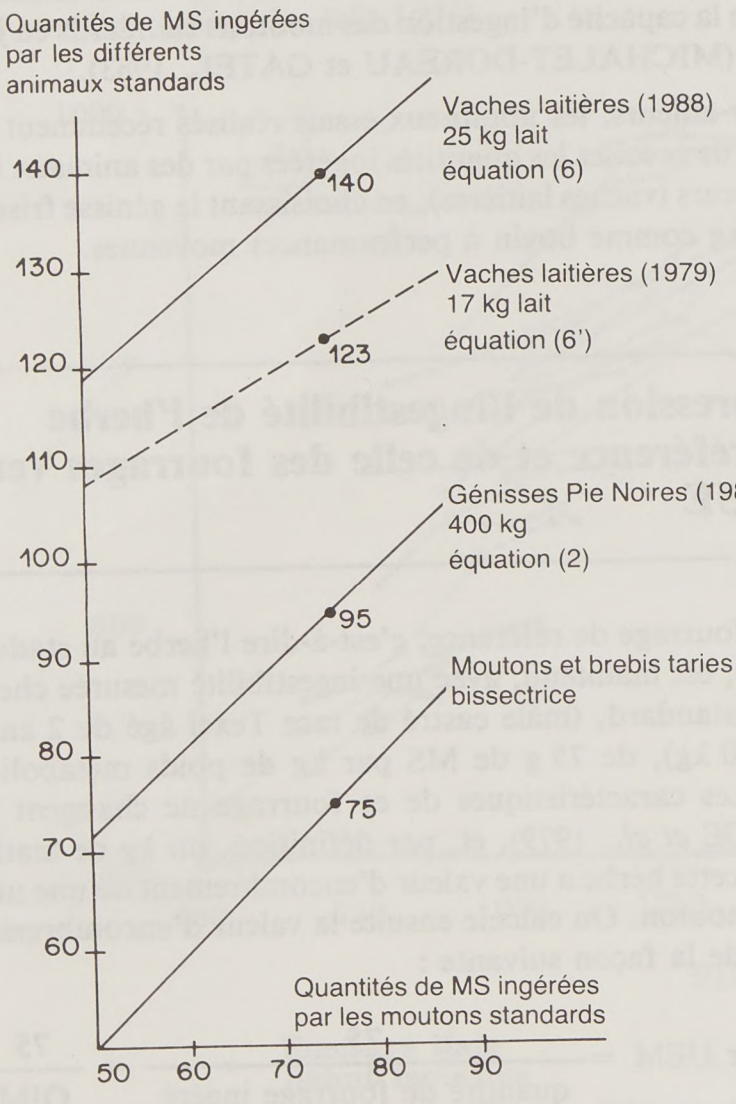


FIG. 1 : *Relations entre les quantités de MS ingérées de fourrage vert (g MS/kg $P^{0,75}$) par les ovins et par les bovins.*

(2) QIG = 22,4 + 0,969 QIM ± 4,8 r^2 = 0,76 n = 31

Dans ces conditions, l'herbe de référence a une ingestibilité de **95 g de MS/kg $P^{0,75}$** pour la génisse Pie noire de 400 kg, ce qui représente une capacité d'ingestion de 8,5 UEB pour ce type d'animal. Des comparaisons entre les quantités de fourrage vert ingérées par des **bœufs à l'engrais** (QIBO) (DEMARQUILLY et WEISS, 1971) et par des moutons effectuées précédemment avaient permis d'établir l'équation suivante :

(3) QIBO = 40,6 + 0,835 QIM ± 6,7 r^2 = 0,90 n = 19

Cette relation donne une valeur de **103 g de MS/kg $P^{0,7}$** pour l'herbe de référence, ce qui est peu différent de la valeur trouvée pour les génisses Pie noires. On assimilera donc ce type d'animal aux génisses Pie noires.

2. Vaches laitières

Nous disposons de 74 comparaisons entre les quantités d'herbe ingérées par les vaches laitières (QIVL) et celles ingérées par les moutons (QIM). Ces comparaisons concernent des fourrages à des stades précoces, voire «moyens», mais jamais très tardifs. Deux groupes de résultats doivent être considérés : ceux obtenus à l'INRA de Lusignan (HUGUET *et al.*, non publié) d'une part, ceux obtenus d'autre part, soit au Pin (9) à Orcival (12), à Marcenat (9) et à Theix (5) (DULPHY et DEMARQUILLY, non publié). Ces résultats sont rapportés dans le tableau 1. Le calcul des relations entre QIVL et QIM a été effectué en transformant le concentré en équivalent herbe ceci en prenant un taux de substitution de 0,5 pour le concentré équilibré (valeur choisie d'après les résultats SARKER et HOLMES, 1974 ; MEIJS, 1981 ; MEIJS et HOEKSTRA, 1984 ; STAKELUM, 1986a et b) à base de céréales et de pulpes de betteraves et 0,3 pour le tourteau tanné qui était distribué à raison de 1 kg/jour, sauf à Lusignan. Les relations ont été calculées en prenant comme covariable la production réelle de lait des vaches (lait en kg à 4 % de MG = PL4) après le pic de lactation.

(4) à Lusignan

QIVL = 55,0 + 0,710 QIM + 1,00 PL4 ± 8,9
r^2 = 0,42 n = 39

(5) dans les autres lieux

QIVL = 36,7 + 0,942 QIM + 1,48 PL4 ± 5,2
r^2 = 0,81 n = 35

A partir de ces relations le niveau d'ingestion de la vache laitière standard pour l'herbe de référence est de 133 g de MS/$P^{0,75}$ à Lusignan et 144 g dans les autres lieux. La valeur intermédiaire de **140 g de MS/kg $P^{0,75}$**, soit 17 kg de MS (valeur identique à celle estimée par JARRIGE *et al.* (1979) a donc été retenue pour une vache produisant 25 kg de lait vers le 4e mois de lactation et pesant 600 kg. Compte-tenu du choix de la valeur de 140 g, et à partir des relations (4) et (5), l'équation suivante sera utilisée pour l'ensemble des fourrages verts :

(6) QIVL = 78,0 + 0,826 QIM

Dans la figure 1 est reportée aussi la relation (6') tirée des résultats de DEMARQUILLY et WEISS (1971) pour des vaches produisant 17 kg de lait :

(6') QIVL = 79 + 0,584 QIM ± 6,7 r^2 = 0,90 n =

TABLEAU 1

Caractéristiques moyennes des animaux et quantités ingérées par semaine dans les essais sur fourrages verts

		Vaches laitières		Génisses Pie Noires
Lieu d'étude		Lusignan	Le Pin Orcival Theix Marcenat	Orcival Laqueuille Marcenat Theix
Nombre de semaines de mesures		39	35	31
Poids vif moyen des animaux (kg)		596 ± 20	627 ± 40	392 ± 18
Production de lait à 4 % de MG (kg)	. initiale	26.5 ± 2.7	24.1 ± 2.8	-
	. moyenne	23.0 ± 3.6	20.8 ± 3.0	-
Teneur en MS de l'herbe (%)		20.1 ± 2.3	17.5 ± 2.5	19.1 ± 4.2
Digestibilité de la MO sur moutons (%)		71.5 ± 4.8	70.3 ± 4.0	68.1 ± 5.8
Ingestibilité en g de MS/kg PO.75 (moutons)		68 ± 6	71 ± 10	69 ± 9
Quantités de MS ingérées (g/kg PO.75)				
	- herbe	119 ± 11	129 ± 12	89 ± 9
	- concentré	15 ± 6	13 ± 7	-

3. Définition de 2 unités d'encombrement pour les bovins

Les résultats des équations (2) et (6) (figure 1) montrent que la variation relative de l'ingestibilité des fourrages verts diminue lorsqu'on passe des moutons (quantité ingérée variant de 50 à 85 g de MS/kg $P^{0,75}$ pour une moyenne de 67 g) aux génisses, puis aux vaches fortes productrices (120 à 150 g de MS/kg $P^{0,75}$ pour une moyenne de 135 g). Il en est donc de même des valeurs d'encombrement des fourrages qui sont égales au rapport d'une constante (ingestibilité de l'herbe de référence pour un animal standard) à l'ingestibilité du fourrage considéré. Les écarts maxima en UE vont être différents selon les animaux. Cela oblige alors à définir des UE par catégories d'animaux. Nous avons retenu 2 unités pour les bovins, au lieu d'une en 1979, en plus de l'UEM pour les ovins :

— l'UEB pour tous les bovins sauf les vaches laitières
— l'UEL pour les vaches laitières.

Les valeurs UE se calculent donc désormais ainsi :

$$UEM = \frac{75}{QIM}$$

$$UEB = \frac{95}{QIG}$$

$$UEL = \frac{140}{QIVL}$$

La valeur UEB se mesure sur des génisses Pie noires de 400 kg et non plus sur des vaches laitières produisant 17 kg de lait. Pour les vaches laitières, à cause de leur fort niveau d'ingestion et de leur aptitude à mieux «tamponner» les variations d'ingestibilité ques les autres classes d'animaux est créée l'UEL, dont la valeur se mesure sur une vache produisant 25 kg de lait (4e mois de lactation). Ainsi un fourrage vert tardif ingéré par exemple à raison de 50 g/kg $P^{0,75}$ par le mouton a les valeurs suivantes : UEM = 1,5 ; UEB = 1,34 et UEL = 1,17. Ces différences justifient le choix de 2 unités pour les bovins. On remarquera cependant que le passage entre UEL et UEB est simple, du moins pour les fourrages verts, ce qui est logique car les quantités d'herbe ingérées par les génisses et les vaches sont bien liées (DULPHY et D'HOUR, 1987). En combinant les équations (2) et (6) on obtient en effet :

(7) QIVL = 59,0 + 0,852 QIG

Cependant, dans les Tables, les valeurs UEB et UEL des fourrages verts ont été, en général, calculées à partir des valeurs UEM.

4. Brebis

Les quantités ingérées par les brebis à l'entretien sont proches de celles mesurées avec les béliers castrés standards (+ 3 % en moyenne pour les brebis — B. CARLE, non publié). Par conséquent les valeurs d'encombrement des fourrages peuvent être considérées comme identiques pour ces deux types d'animaux.

Aucune mesure d'ingestibilité de l'herbe n'a été faite sur les brebis en gestation et en lactation.

II. Expression de l'ingestibilité des fourrages conservés en UE

L'ingestibilité des fourrages conservés est relativement bien connue pour les moutons standards (INRA, 1981). Elle est estimée, pour chaque fourrage, soit à partir de la valeur du fourrage vert initial, soit directement à partir de la composition chimique du fourrage conservé lui-même.

Chez les bovins il existe plusieurs possibilités pour estimer l'ingestibilité des fourrages conservés :

(1) à partir de la composition chimique des fourrages conservés eux-mêmes, mais compte-tenu de la nécessité de travailler par espèce végétale et par cycle de végétation, nous devons exclure cette méthode pour l'instant.

(2) à partir de l'ingestibilité du fourrage vert initial mesurée sur bovins et corrigée selon le mode et les conditions de conservation.

(3) à partir de l'ingestibilité du fourrage conservé lui-même, mesurée chez le mouton, à condition de disposer des équations de passage nécessaires entre moutons et bovins.

Face à ces différentes possibilités plusieurs problèmes se posent. Tout d'abord il n'est pas possible de mesurer la valeur UE de tous les fourrages conservés car il existe beaucoup de facteurs de variation liés aux conditions de récolte et de conservation, contrairement à ce qui se passe pour les fourrages verts. Nous disposons cependant de comparaisons entre fourrages conservés et fourrages verts. Elles sont en nombre limité mais suffisantes pour en tirer déjà quelques conclusions.

Par ailleurs la capacité d'ingestion des moutons varie avec la saison (MICHALET-DOREAU et GATEL, 1983). Les relations entre ovins et bovins seront donc calculées intra-saison et les modifications d'ingestibilité entraînées par la conservation seront données par catégories d'animaux. Cela n'avait pas été le cas en 1979, d'où les erreurs dans l'estimation de la valeur UEB des foins.

1. Foins

Les comparaisons suivantes ont été effectuées :

— fourrage vert/foin : 16 comparaisons sur génisses à Orciv (DULPHY et ROUEL, non publié)

— sur 28 foins : comparaisons entre génisses et moutons sur le quels on mesurait l'ingestibilité et la digestibilité (les 16 foi précédents et 12 distribués à Marcenat, à Laqueuille et à Orcival

— fourrage vert/fourrage déshydraté : 8 comparaisons s vaches laitières (VERITE et JOURNET, 1970).

— sur 15 foins : comparaisons entre vaches laitières et mouto à Orcival.

Les ingestibilités et les valeurs d'encombrement établies partir de ces résultats sont présentées respectivement dans l tableaux 2 et 3. L'ingestibilité retenue pour les foins faits da de bonnes conditions (au sol par beau temps ou ventilés en gran pour les graminées) a, en effet, été considérée comme identiqu à celle des fourrages verts initiaux chez les bovins. Les résulta dont nous disposons sont relativement concordants sur ce poin avec une tendance à ce que l'ingestibilité des foins faits da d'excellentes conditions soit légèrement supérieure à celle d fourrages verts de départ, tendance que nous négligerons.

Dans ces conditions l'effet du stade de récolte est iden que pour les foins bien préparés et les fourrages verts.

Pour calculer les ingestibilités des autres foins de gra nées, des abattements par rapport au foin fait dans de bonn conditions ont été appliqués en tenant compte du type d'a mal, du stade de récolte et de la durée de séjour du foin au s (tableau 4 - figure 2) :

L'abattement appliqué pour les vaches laitières est éga celui observé chez les génisses multiplié par le facteur

$$\frac{95}{140} = 0{,}68, \text{ arrondi à } 0{,}67\ (2/3)$$

Les coefficients proposés dans le tableau 4 permett d'établir les équations suivantes pour les foins au sol avec pl (moins de 10 jours — < 10 — ou plus de 10 jours — > 10 de séjour au sol) :

TABLEAU 2

*Evolution comparée de l'ingestibilité des foins de graminées préparés dans de bonnes conditions * chez le mouton, la génisse Pie-Noire et la vache laitière*

Stades	Précoces			Tardifs		
Graminées						
Quantités de MS ingérées (g/kg $P^{0.75}$) de fourrage vert						
- moutons	80.0	75.0	70.0	60.0	50.0	45.0
- génisses	99.9	95.0	90.2	80.5	70.9	66.0
- vaches laitières	144.1	140.0	135.8	127.6	119.3	115.2
Quantités de MS ingérées (g/kg $P^{0.75}$) de foin						
- moutons	63.7	60.2	56.8	49.9	43.0	39.5
- génisses	99.9	95.0	90.2	80.5	70.9	66.0
- vaches laitières	144.1	140.0	135.8	127.6	119.3	115.2

* Bonnes conditions : ventilation en grange et séchage au sol par beau temps

TABLEAU 3

Valeurs UE des foins de graminées en fonction du stade de récolte et des conditions météorologiques

Stades	Précoces					Tardifs
Moutons UEM						
- fourrage vert	0.94	1.00	1.07	1.25	1.50	1.67
- foin ventilé	1.11	1.17	1.23	1.39	1.60	1.72
- foin préparé au sol dans de bonnes conditions	1.18	1.25	1.32	1.50	1.74	1.90
- foin préparé au sol avec pluie 10 jours	1.27	1.35	1.43	1.65	1.95	2.14
- foin préparé au sol avec pluie 10 jours	1.33	1.42	1.52	1.77	2.11	2.34
Bovins sauf vaches laitières UEB						
- fourrage vert	0.95	1.00	1.05	1.18	1.34	1.44
- foin ventilé ou au sol dans de bonnes conditions	0.95	1.00	1.05	1.18	1.34	1.44
- foin préparé au sol avec pluie 10 jours	1.04	1.09	1.14	1.27	1.43	1.53
- foin préparé au sol avec pluie 10 jours	1.14	1.19	1.24	1.37	1.53	1.62
Vaches laitières UEL						
- fourrage vert	0.97	1.00	1.03	1.10	1.17	1.22
- foin ventilé ou au sol dans de bonnes conditions	0.97	1.00	1.03	1.10	1.17	1.22
- foin préparé au sol avec pluie 10 jours	1.03	1.06	1.09	1.15	1.22	1.26
- foin préparé au sol avec pluie 10 jours	1.09	1.12	1.15	1.21	1.27	1.31

TABLEAU 4

Abattements retenus pour passer de l'ingestibilité des fourrages verts chez les bovins à celle des foins

Génisses :	foin au sol avec pluie < 10 jours	- 9 % en début de cycle - 7,5 % en milieu de cycle - 6 % en fin de cycle
	foin au sol avec pluie > 10 jours	- 18 % en début de cycle - 15 % en milieu de cycle - 12 % en fin de cycle
Vaches laitières :	foin au sol avec pluie < 10 jours	- 6 % en début de cycle - 5 % en milieu de cycle - 4 % en fin de cycle
	foin au sol avec pluie > 10 jours	- 12 % en début de cycle - 10 % en milieu de cycle - 8 % en fin de cycle

(9) QIG foin sol $<$ 10 = 0,865 QIG f. vert + 5,2
(10) QIG foin sol $>$ 10 = 0,73 QIG f. vert + 10,4
(11) QIVL foin sol $<$ 10 = 0,865 QIVL f. vert + 11,4
(12) QIVL foin sol $>$ 10 = 0,73 QIVL f. vert + 22,8

Pour **les graminées**, sauf la prairie naturelle de montagne, les quantités ingérées en vert par les génisses et les vaches laitières seront calculées à partir des équations (2) et (6).

Pour le cas particulier des foins de la **prairie naturelle de montagne** (pour lesquels les données de quantités ingérées sont nombreuses) les relations suivantes, calculées par AGABRIEL et PETIT (non publié), permettent de prédire les ingestibilités des foins bien préparés en fonction de la digestibilité de leur matière organique mesurée sur moutons (DMO en p. 100) :

(13) QIG foin = − 11,2 + 1,61 DMO
(14) QIVL foin = 48,9 + 1,38 DMO

Les ingestibilités des foins de prairie naturelle de montagne avec pluie sont ensuite calculées avec les équations (9) et (12) dans lesquelles la quantité de fourrage vert ingérée (QIG f. vert ou QIVL f. vert) est remplacée par celle du foin bien préparé (QIG foin ou QIVL foin).

Pour la **luzerne** les valeurs d'ingestibilité des foins ventilés qui avaient été données dans les Tables de 1979 ont été assimilées aux ingestibilités des fourrages verts. Les équations (9) à (12) ont ensuite été utilisées pour tenir compte des conditions de récolte, mais les équations (9) et (11) l'ont été pour des foins préparés au sol sans pluie et les équations (10) et (12) pour des foins préparés au sol avec pluie.

Les résultats du tableau 2 permettent en outre d'obtenir les équations de prédiction des quantités de foin de graminées ingérées par les bovins en fonction de celles des moutons (foins bien préparés) :

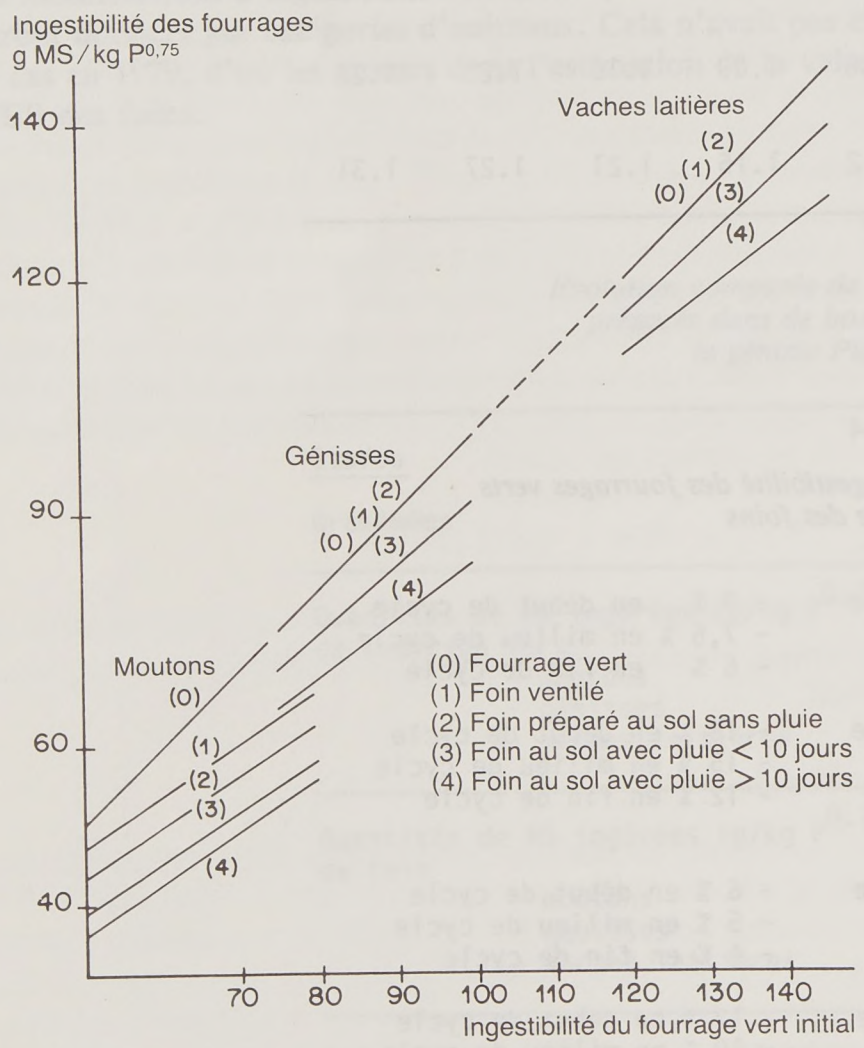


FIG. 2 : *Ingestibilité des foins selon leurs conditions de préparation.*

(15) QIG foin = 10,7 + 1,4 QIM foin
(16) QIVL foin = 67,7 + 1,2 QIM foin

Pour les foins de luzerne ventilés, ainsi que ceux fanés au sol sans pluie les équations sont les suivantes :

— foins ventilés de luzerne :

(17) QIG foin = 0,83 QIM foin + 44,9
(18) QIVL foin = 0,75 QIM foin + 94,4

— foin de luzerne au sol sans pluie :

(19) QIG foin = 0,26 QIM foin + 75,6
(20) QIVL foin = 0,24 QIM foin + 121,4

2. Ensilages d'herbes

DULPHY et MICHALET-DOREAU (1981) ont propos une méthode de prévision des quantités d'ensilage ingérées pa les bovins. Le principe était basé sur l'équivalence entre le fou rage vert et l'ensilage à brins courts parfaitement conservé, aya une teneur en matière sèche de 23 %. Depuis de nouvelles com paraisons ont été effectuées entre fourrages verts et ensilage (4), entre ensilages et foins bien préparés, sur bovins, et entr moutons et bovins sur ensilages bien préparés.

L'ensemble de ces résultats conduit à baisser, par rappo aux anciennes valeurs, de 5 % pour les génisses et de 3,5 % po les vaches laitières l'ingestibilité des ensilages bien prépar (tableaux 5 et 6). Pour les génisses cet écart est celui enregist par rapport aux foins préparés dans de bonnes conditions à Or val. Pour les vaches laitières, compte tenu du stade de récol les valeurs du tableau 5 correspondent bien aussi à celles réel ment mesurées à Orcival : ingestibilité de 122 g de MS/kg P contre 53 pour les moutons.

Hormis cette diminution générale des valeurs d'ingestib lité, le passage aux autres catégories d'ensilage se fait comm cela avait été proposé en 1981, par des coefficients dépend de la longueur des brins, de la présence ou non d'un conser teur et de la teneur en matière sèche. Les abattements pour l vaches ont été diminués comme cela a été fait plus haut po les foins (tableau 7).

A partir des coefficients du tableau 7 des équations de pr diction ont été calculées pour permettre de passer des ingestib lités des fourrages verts (cas général) ou des foins ventilés (pr rie naturelle de montagne et luzerne) à celles des différentes ca gories d'ensilages :

— à brins courts (BC)
— à brins longs (BL)
— sans ou avec conservateur efficace (CO)

et ce, selon la teneur en MS, exprimée en p. 100.

génisses

(21) QIG ens. BC = QIG f. vert (1 − 0,0158 (32 − MS
(22) QIG ens. BCCO = QIG f. vert (1 − 0,0127 (27 − MS
(23) QIG ens. BL = QIG f. vert (1 − 0,0127 (45 − MS
(24) QIG ens. BLCO = QIG f. vert (1 − 0,0110 (40,5 − MS
(25) QIG ens. préfané = QIG f. vert × 0,95

vaches laitières

(26) QIVL ens. BC = QIVL f. vert (1 − 0,0107 (32 − M
(27) QIVL ens. BCCO = QIVL f. vert (1 − 0,0086 (27 − M
(28) QIVL ens. BL = QIVL f. vert (1 − 0,0086 (45 − M
(29) QIVL ens. BLCO = QIVL f. vert (1 − 0,0075 (40,5 − M
(30) QIVL ens. préfané = QIVL f. vert × 0,965

TABLEAU 5

*Evolution comparée de l'ingestibilité des ensilages d'herbe préparés dans de bonnes conditions * chez le mouton, la génisse Pie-Noire, et la vache laitière*

Stades	Précoces					Tardifs
Quantités de MS ingérées (g/kg PO.75) de fourrage vert						
- moutons	90.0	80.0	75.0	70.0	60.0	50.0
- génisses	109.6	99.9	95.0	90.2	80.5	70.9
- vaches laitières	153.3	144.1	140.0	135.8	127.8	119.3
Quantités de MS ingérées (g/kg PO.75) d'ensilage						
- moutons	65.4	61.2	59.1	57.0	52.9	48.7
- génisses	104.1	94.9	90.3	85.7	76.5	67.4
- vaches laitières	147.0	139.0	135.1	131.0	123.1	115.1

* Bonnes conditions : brins courts + acide formique 23 % MS ou brins courts préfané 35 % MS

TABLEAU 6

Evolution, selon les valeurs du fourrage vert initial (ou du foin ventilé), des valeurs UE des ensilages d'herbe préparés dans de bonnes conditions

Stades		Précoces					Tardifs
Moutons	UEM						
- Fourrage vert		0.83	0.94	1.00	1.07	1.25	1.50
- Ensilage de graminées		1.15	1.22	1.27	1.32	1.42	1.54
- Ensilage de luzerne		1.00	1.12	1.19	1.26	-	-
Bovins	UEB						
- Fourrage vert ou foin ventilé		0.87	0.95	1.00	1.05	1.18	1.34
- Ensilage d'herbe		0.91	1.00	1.05	1.11	1.24	1.41
Vaches laitières	UEL						
- Fourrage vert ou foin ventilé		0.92	0.97	1.00	1.03	1.10	1.17
- Ensilage d'herbe		0.95	1.01	1.04	1.07	1.14	1.22

TABLEAU 7

Abattements retenus pour passer de l'ingestibilité des fourrages verts (ou foins ventilés) chez les bovins à celle des ensilages

Teneur en MS	Brins longs		Brins courts	
	Sans conservateur	Avec conservateur efficace	Sans conservateur	Avec conservateur efficace
Génisses				
17 %	- 35.4 %	- 25.9 %	- 24.0 %	- 12.6 %
20 %	- 31.6 %	- 22.6 %	- 19.3 %	- 8.8 %
23 %	- 27.8 %	- 19.3 %	- 14.5 %	- 5.0 %
35 %	- 10.7 %	-	- 5.0 %	-
Vaches laitières				
17 %	- 24.0 %	- 17.6 %	- 16.0 %	- 8.5 %
20 %	- 21.5 %	- 15.4 %	- 13.0 %	- 6.0 %
23 %	- 19.0 %	- 13.1 %	- 10.0 %	- 3.5 %
35 %	- 7.5 %	-	- 3.5 %	-

A partir des résultats du tableau 5 les équations de prédiction suivantes ont été établies pour les ensilages bien préparés :

(31) QIG ens. BCCO = 39,7 + 2,2 QIM ens. BCCO
(32) QIVL ens. BCCO = 22,6 + 1,9 QIM ens. BCCO

L'évolution de l'ingestibilité des ensilages en fonction de celle des fourrages verts est donnée dans la figure 3.

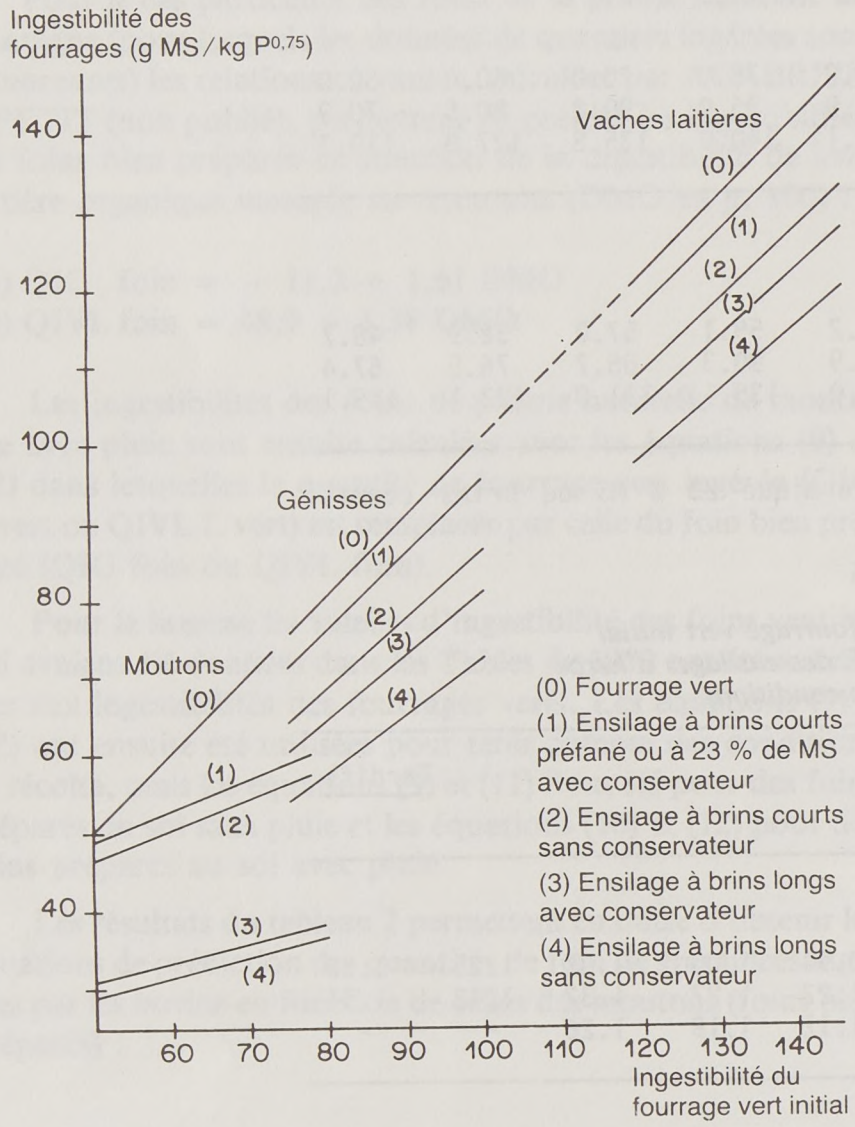


FIG. 3 : *Ingestibilité des ensilages d'herbe selon leurs conditions de préparation.*

3. Ensilages de maïs plante entière

Pour tenir compte de la diversité des situations dans les quelles poussent et sont récoltées, pour ensilage, les plante entières de maïs, 7 cas ont été considérés. Les valeurs corres pondantes d'ingestibilité pour les bovins standards et les valeu UE sont données dans le tableau 8. Ces valeurs dérivent direc tement de mesures sur bovins ou sont estimées. Elles correspon dent toujours à des fourrages correctement complémentés e azote et en minéraux.

4. Pailles

Seules sont considérées les pailles correctement compléme tées en énergie, en azote et en minéraux. En 1978 l'estimatio des valeurs d'encombrement des pailles avait été faite directe ment à partir des quantités ingérées par des génisses. Les der niers résultats, pour des génisses Pie noires de 400 kg indique que ces quantités, pour des pailles de bonne qualité, sont égale à 58 g de MS/kg $P^{0,75}$ avec 27 g de MS de concentré (CHE NOST *et al.*, 1987). Si on prend un taux de substitution de 0,0 on obtient une ingestibilité théorique de 59,4, ce qui correspon à une valeur UEB de 1,60. On a pris ensuite une ingestibili théorique de 47,5 g de MS/kg $P^{0,75}$ pour les pailles de quali médiocre (tableau 9).

Les valeurs pour les vaches laitières sont des valeurs théo riques, déduites de celles des génisses et applicables pour de rations correctement complémentées.

Les pailles distribuées seules, sans complément, sont pe ingérées et ont une valeur UE élevée. Ces valeurs ne sont pa connues précisément, mais elles ont peu d'intérêt pratique. Pou des pailles de qualité moyenne, elles sont voisines de 2,10 UE et 1,60 UEL.

TABLEAU 8

Ingestibilités et valeurs UE des ensilages de maïs plante entière

Type d'ensilage	Génisses		Vaches laitières	
	QIG	UEB	QIVL	UEL
Ensilage haché finement sans conservateur				
Conditions de végétation normales				
. laiteux-pâteux (25 % de MS)	77	1.23	115	1.22
. pâteux-vitreux (30 % de MS)	84	1.13	124	1.13
. vitreux (35 % de MS)	90	1.05	136	1.03
Très bonnes conditions de végétation				
. vitreux (> 65 % de MS)	95	1.00	143	0.98
Mauvaises conditions de végétation				
. températures estivales insuffisantes (plus de 2 mois après la floraison)	75	1.26	112	1.25
. gel au stade laiteux-pâteux (3 semaines après le gel)	75	1.26	112	1.25
. sécheresse (pauvre en épi)	82	1.16	122	1.15

TABLEAU 9

Ingestibilités et valeurs UE des pailles de céréales complémentées correctement

Pailles de qualité	Génisses		Vaches laitières	
	QIG*	UEB	QIVL*	UEL
très bonne	59	1.60	97	1.45
moyenne	53	1.80	88	1.60
médiocre	47	2.00	78	1.80

* QIG et QIVL sont des valeurs théoriques (en g/kg $P^{0.75}$) l'apport de concentré étant converti en équivalent-paille.

III. Lois de variation du taux de substitution

1. Les phénomènes de substitution

Le taux de substitution (S) d'un concentré à un fourrage est, par définition, la diminution de la quantité de fourrage ingéré rapportée à l'augmentation de la quantité d'aliments concentrés ingérés par un animal donné, les deux étant exprimées en matière sèche. De nombreux facteurs sont susceptibles de faire varier la valeur de ce taux (BERGE et DULPHY, 1985 ; JARRIGE *et al.*, 1986), en particulier les caractéristiques de l'animal (espèce, performances zootechniques, stade physiologique...) et de la ration (nature du fourrage et du concentré, niveau d'apport d'aliments concentrés...).

Deux notions différentes du taux de substitution sont à considérer (figure 4) :

— si l'objectif est de déterminer la baisse de quantité ingérée de fourrage lorsque l'apport d'aliments concentrés passe de 0 à Y kg de matière sèche, on parlera de taux de substitution «global» (Sg) de l'aliment concentré. Ce taux est particulièrement important pour déterminer la valeur d'encombrement de l'aliment concentré (VEC), car elle est le produit de la valeur d'encombrement du fourrage (VER) par le taux de substitution global.

— si l'objectif est de déterminer la variation de quantité ingérée de fourrage lorsque l'apport d'aliments concentrés passe de Y à Y + 1 kg par exemple, on parlera alors de taux de substitution «marginal» (Sm). C'est ce taux qui va permettre, essentiellement pour le rationnement des vaches laitières, de déterminer quelle variation de l'apport d'énergie est entraînée par l'introduction d'un kg supplémentaire d'aliment concentré dans la ration.

Ces 2 taux sont généralement différents quand l'apport d'aliments concentrés (Y) devient important. Pour les bovins en croissance et à l'engrais et pour les moutons, les valeurs de Sg peuvent être déterminées expérimentalement, car il est possible d'alimenter ces animaux avec le fourrage seul. Les principaux facteurs de variation avaient déjà été pris en compte dans le système des UE en 1978 et 1979 et les mêmes principes sont conservés.

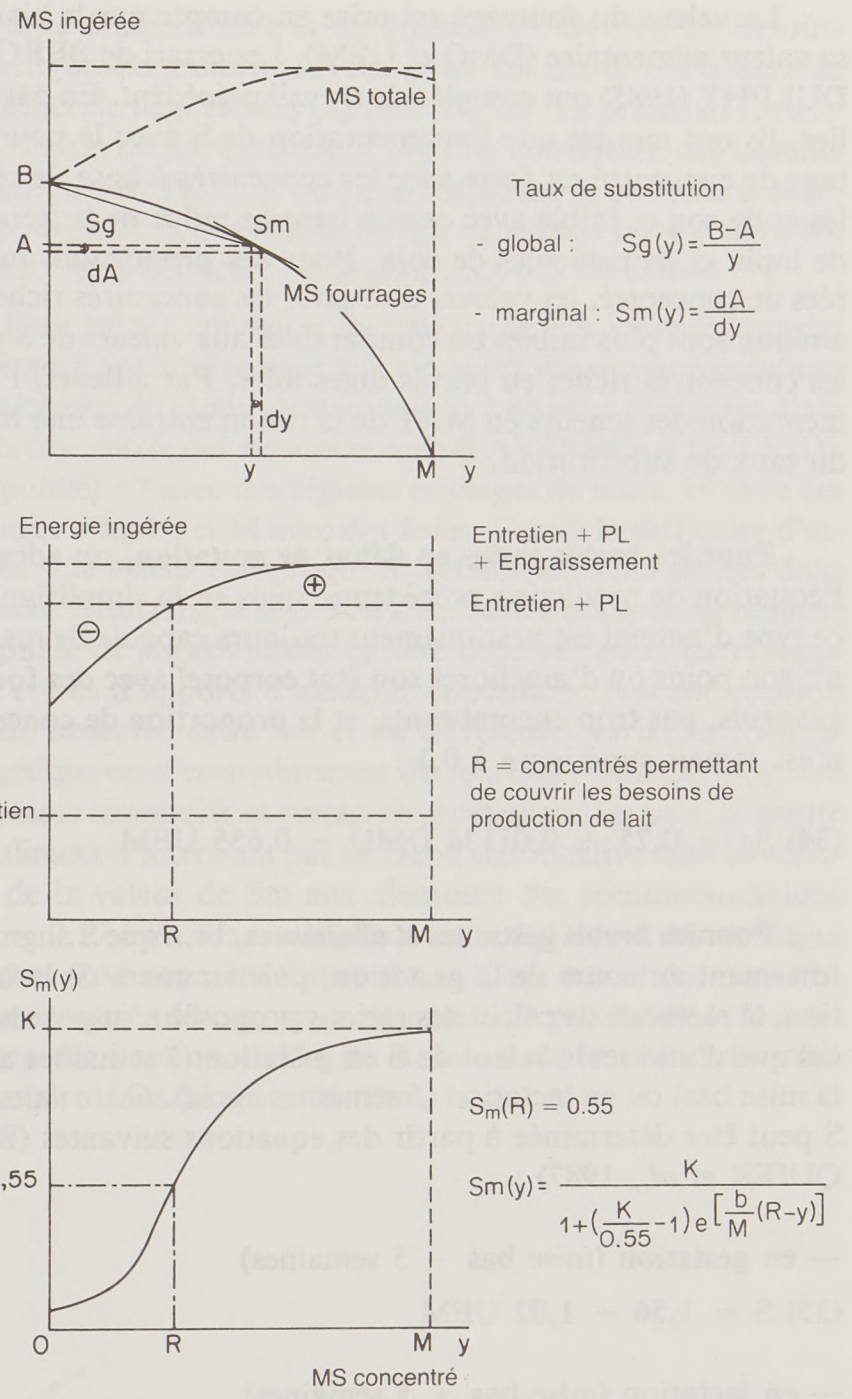


FIG. 4 : *Définition des taux de substitution (marginal, global) et schéma de la loi de variation du taux de substitution marginal, en fonction des quantités d'aliments concentrés ingérées, proposé pour les vaches laitières.*

Par contre, les vaches laitières sont rarement alimentées sans aliments concentrés et les valeurs de Sg ne peuvent être obtenues directement, mais de nombreuses données sont disponibles sur les valeurs de Sm. Celles-ci avaient été extrapolées en 1979 avec des animaux de production modérée (vache standard produisant 17 kg de lait) pour la détermination de Sg, mais elles n'étaient pas suffisantes pour prendre en compte beaucoup de facteurs de variation, notamment le niveau d'apport d'aliments concentrés ou le niveau de production. Un nouveau mode de calcul des taux de substitution pour vaches laitières, qui sera exposé plus loin, a donc été mis au point pour essayer de résoudre ce problème.

2. Cas des ovins

Pour les **moutons à l'entretien**, DEMARQUILLY *et al.* (in INRA, 1978) avaient proposé l'équation de prédiction suivante :

$$(33)\quad Sg = 0{,}637 + 0{,}01134\ DMO - 0{,}655\ UEM + 1{,}262\ C - 1{,}182\ C^2 \qquad R = 0{,}799 \qquad n = 56$$

DMO étant la digestibilité en %, mesurée avec les moutons eux-mêmes, et C la proportion de concentré qui variait de 0 à 0,60.

La valeur du fourrage est prise en compte par le biais de sa valeur alimentaire (DMO et UEM). Les essais de BERGE et DULPHY (1985) ont complété le travail précédent. En particulier, ils ont montré que l'augmentation de S avec le pourcentage de concentré est forte avec les concentrés à base de céréales et de son et faible avec ceux à base de pulpe de betteraves, de lupin et de pellicules de soja. Pour des proportions modérées de concentré, les valeurs de S pour les concentrés riches en amidon sont plus faibles ou comparables aux valeurs de S pour les concentrés riches en parois digestibles. Par ailleurs, l'augmentation des teneurs en MAT de la ration entraîne une baisse du taux de substitution.

Pour les brebis taries en début de gestation, on adoptera l'équation de prédiction précédente, mais en la simplifiant car ce type d'animal est pratiquement toujours capable de maintenir son poids ou d'améliorer son état corporel avec des fourrages seuls, pas trop encombrants, et la proportion de concentré n'est jamais supérieure à 0,1 :

(34) Sg = 0,75 + 0,01134 DMO − 0,655 UEM

Pour les brebis gestantes et allaitantes, bien que S augmente fortement au cours de la gestation, puis au cours de la lactation, la méthode de calcul des rations proposée n'impose le calcul que d'une seule valeur de S en gestation (5 semaines avant la mise bas) ou en lactation (5 semaines après). Cette valeur de S peut être déterminée à partir des équations suivantes (BOCQUIER *et al.*, 1987) :

— en gestation (mise bas − 5 semaines)

(35) S = 1,56 − 1,02 UEM

— en lactation (mise bas + 5 semaines)

(36) S = 2,92 − 1,62 UEM

Les taux de substitution sont toujours plus faibles en gestation qu'en lactation, respectivement 0,33 et 0,97 pour un foin ayant une valeur UEM de 1,2. De plus, lorsque la valeur UEM augmente, les taux de substitution diminuent moins rapidement pendant la gestation que pendant la lactation.

3. Cas des bovins en croissance et à l'engrais

Pour les bovins en croissance et à l'engrais, un modèle des lois de variation du taux de substitution a été proposé en 1979. A partir de 35 essais, réalisés avec des foins (10), des ensilages d'herbe (20), des pailles (3) et de l'herbe (2), il avait pu être tenu compte de l'influence de la proportion de concentré, qui variait dans ces essais de 14 à 55 p. 100, et de la valeur UEB du fourrage. Le taux de substitution S est relié à la valeur d'encombrement du fourrage (UEB) et à la proportion de concentré (C) dans la ration sur la base de la matière sèche :

$$S = \frac{1}{UEB}\left(1 - A \exp^{\frac{B}{1.0 - C}}\right)$$

Cette équation décrit une famille de courbes reliant S à UEB pour différentes valeurs d'apport de concentré et pour différentes valeurs UEB des fourrages. Dans ce cas, il s'agit d'un taux de substitution global (Sg) qui rend compte des phénomènes de substitution entre le fourrage et le concentré par rapport au fourrage distribué seul, sans concentré, et à volonté.

A partir des données expérimentales disponibles, le modèle était ajusté sur trois contraintes.

La première est relative aux valeurs observées du taux de substitution selon différentes valeurs UEB des fourrages pour la valeur moyenne d'apport de concentré (30 p. 100) dans les résultats considérés. La seconde concerne les variations du taux de substitution selon les différences d'apport de concentré autour de cette valeur moyenne. La dernière permet de borner le modèle vers des valeurs plausibles au delà de 60 p. 100 d'apport de concentré dans la ration.

Le même modèle a été retenu (figure 5) en l'ajustant sur les nouvelles valeurs UEB des fourrages proposés dans ce texte pour les différents types de bovins, vaches laitières exclues. Cet ajustement se traduit par de nouvelles valeurs des coefficients A et B de l'équation générale.

Cette représentation et la forme de courbe retenue permettent d'inclure simultanément les variations de la valeur d'encombrement des fourrages et celles de la proportion de concentré. Elle permet de prévoir des taux de substitution faibles, voire négatifs vis-à-vis des fourrages de mauvaise qualité, faiblement

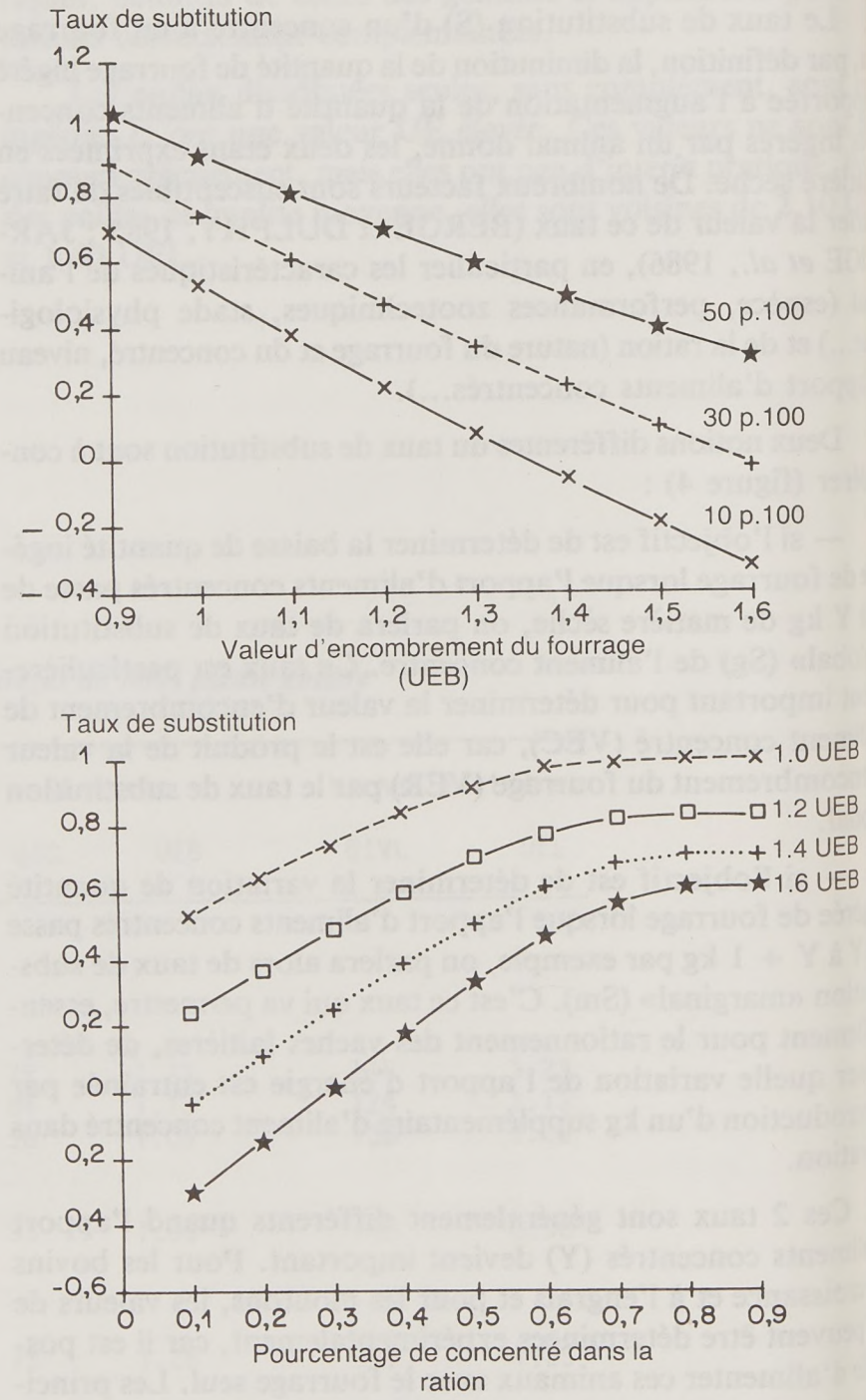


FIG. 5 : *Effet du pourcentage de concentré dans la ration et de la valeur d'encombrement du fourrage (UEB) sur le taux de substitution chez les bovins en croissance et à l'engrais.*

complémentés, cas rencontrés lors du rationnement de certains types d'animaux à faibles besoins. L'effet de l'apport croissant de concentré (de 0 à 60 p. 100) est fiable pour des variations importantes de sa proportion dans les rations, plage de variation couramment pratiquée entre les différents types de bovins en croissance faible ou modérée ou bien en finition intensive à l'auge.

4. Cas des vaches laitières

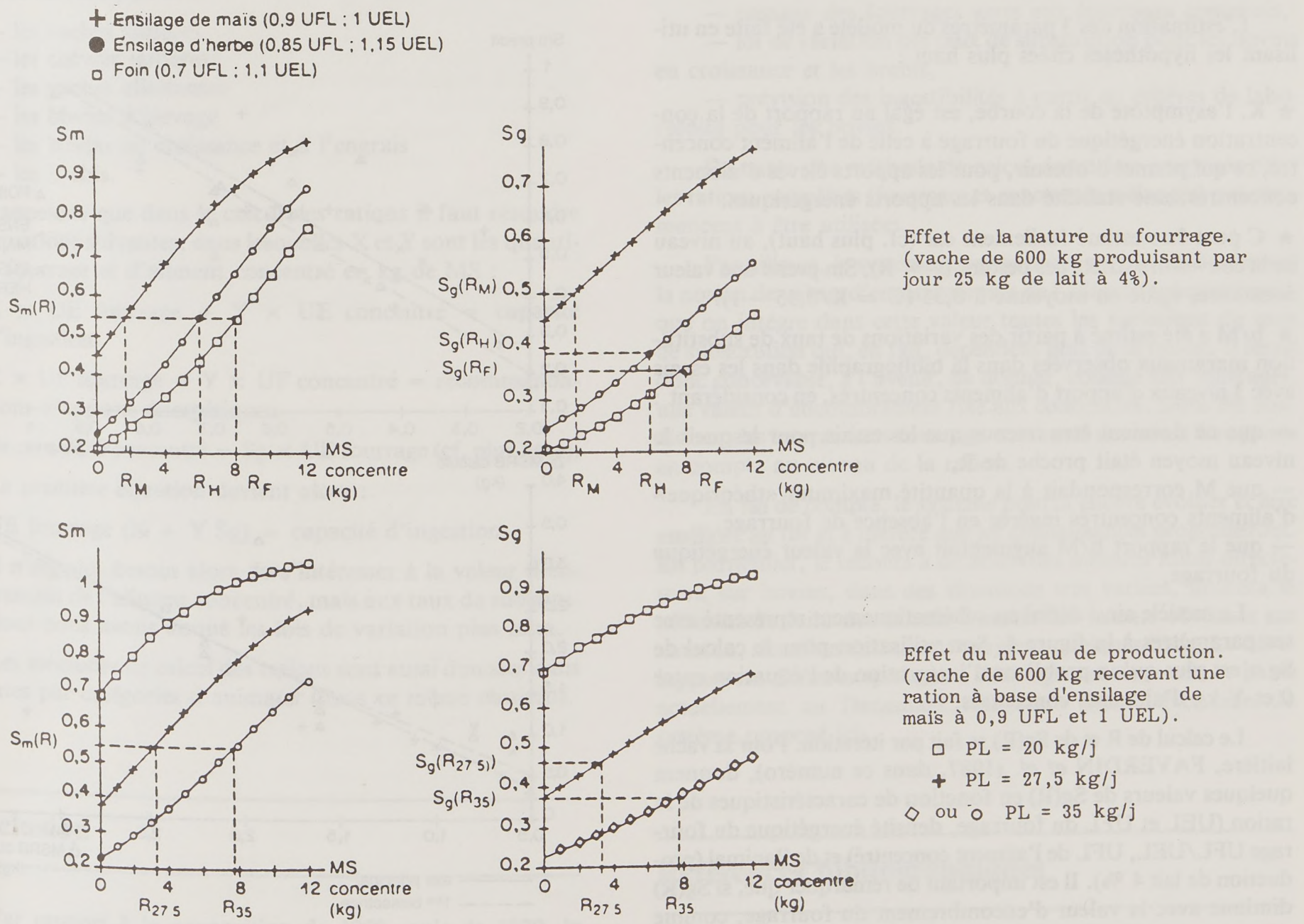
Le fourrage n'étant jamais distribué seul, le calcul de Sg chez les vaches laitières ne peut donc se faire que par l'intermédiaire de Sm. En effet, si pour un animal à un stade de lactation et un niveau de production donnés et recevant une ration connue, il est possible de décrire la loi de variation de Sm entre 0 et Y kg d'aliments concentrés, Sg est alors connu car :

$$Sg\ (Y) = 1/Y \int_0^y Sm\ (y)dy$$

Des expérimentations et une étude bibliographique sur les phénomènes de substitution ont donc été réalisées en vue de mieux décrire la loi de variation de Sm (figure 6).

Tant que les besoins énergétiques ne sont pas couverts, Sm prend des valeurs faibles (de 0,35 à 0,5). Lorsque l'apport d'aliments concentrés devient important ou que l'on distribue des fourrages d'ingestibilité et de digestibilité élevées, les besoins énergétiques sont alors couverts et les valeurs de Sm observées sont généralement élevées (de 0,60 à 0,90). Le principal facteur de variation de Sm est donc le taux de couverture des besoins énergétiques de l'animal ou l'écart séparant la quantité d'énergie apportée de la quantité d'énergie nécessaire pour couvrir les besoins : plus cet écart est grand, plus Sm est faible.

Pour mieux connaître les valeurs de Sm lorsque l'apport d'énergie à l'animal se situe aux alentours des recommandations énergétiques, 40 essais présentant 2 ou 3 niveaux d'apports d'aliments concentrés ont été sélectionnés (FAVERDIN et DULPHY, non publié) : 7 avec des régimes ensilages de maïs, 19 avec des ensilages d'herbe et 14 avec des foins. Face à la difficulté d'attribuer une valeur énergétique à certains aliments utilisés dans les essais étrangers, la sélection a été faite à partir de la réponse marginale de la production laitière observée entre les niveaux haut et bas d'apports d'aliments concentrés. Aucune relation n'a été observée entre Sm et les différentes variables : valeur énergétique ou d'encombrement du fourrage, quantité moyenne d'aliments concentrés et niveau de production. De plus, la nature de l'aliment n'intervient pas de façon significative dans la variation de la valeur de Sm aux alentours des recommandations (Sm = 0,57 avec des ensilages de maïs, 0,53 avec des ensilages d'herbe, 0,58 avec des foins). Dans l'état actuel des connaissances, tout semble se passer comme si, à proximité de la couverture des besoins, l'effet de la nature de la ration devenait secondaire dans la valeur de Sm.



Effet de la nature du fourrage. (vache de 600 kg produisant par jour 25 kg de lait à 4%).

Effet du niveau de production. (vache de 600 kg recevant une ration à base d'ensilage de maïs à 0,9 UFL et 1 UEL).

□ PL = 20 kg/j

+ PL = 27,5 kg/j

◇ ou ○ PL = 35 kg/j

FIG. 6 : *Exemples de variations des 2 taux de substitution «marginal» (Sm) et «global» (Sg) en fonction des quantités d'aliments concentrés ingérées pour différents types de fourrage et pour différents niveaux de production. (Vache de 600 kg produisant par jour 25 kg de lait à 4 %).*

Pour les apports très faibles ou très élevés d'aliments concentrés, il s'est avéré nécessaire de faire des hypothèses.

— pour les apports très faibles, on a supposé que Sm ne pouvait pas être négatif. Ceci signifie que le premier kg d'aliment concentré apporté à une vache ne peut pas provoquer d'augmentation des quantités ingérées de fourrage. Cette hypothèse n'est sans doute généralement pas fausse si le fourrage est suffisamment ingestible et si l'apport d'azote n'est pas limitant. Cette condition sera donc toujours supposée remplie.

— pour les apports très élevés, on a supposé que Sm atteignait un palier. Cette hypothèse est cohérente avec le fait que, passé un certain niveau d'apport d'aliment concentré, la quantité d'énergie ingérée par l'animal reste stable (figure 4).

Ces hypothèses étant retenues, plusieurs lois de variation de Sm permettaient de décrire cette évolution sigmoïde en fonction de la quantité d'aliments concentrés. Le modèle logistique à 3 paramètres a finalement été retenu pour simuler cette évolution de Sm.

La loi de variation de Sm en fonction de la quantité y d'aliments concentrés distribuée est donc :

$$Sm(y) = \frac{K}{1 + C \exp((b/M)(R - y))}$$

où : R représente la quantité d'aliments concentrés nécessaire pour couvrir les besoins de la vache.
K, C, b/M sont les paramètres du modèle.

L'estimation des 3 paramètres du modèle a été faite en utilisant les hypothèses citées plus haut :

★ K, l'asymptote de la courbe, est égal au rapport de la concentration énergétique du fourrage à celle de l'aliment concentré, ce qui permet d'obtenir, pour les apports élevés d'aliments concentrés, une stabilité dans les apports énergétiques.

★ C peut être estimé facilement car (cf. plus haut), au niveau de la couverture stricte des besoins (y = R), Sm prend une valeur constante, égale en moyenne à 0,55 (C = K/0,55 − 1).

★ b/M a été estimé à partir des variations de taux de substitution marginaux observées dans la bibliographie dans les essais avec 3 niveaux d'apport d'aliments concentrés, en considérant :

— que ne devaient être retenus que les essais pour lesquels le niveau moyen était proche de R,
— que M correspondait à la quantité maximum «théorique» d'aliments concentrés ingérée en l'absence de fourrage.
— que le rapport b/M augmentait avec la valeur énergétique du fourrage.

Le modèle ainsi défini est schématiquement représenté avec ses paramètres à la figure 4. Son utilisation pour le calcul de Sg n'est plus qu'un problème d'intégration de l'équation entre 0 et Y kg d'aliments concentrés.

Le calcul de R et de Sg(R) se fait par itération. Pour la vache laitière, FAVERDIN *et al.* (1987, dans ce numéro), donnent quelques valeurs de Sg(R) en fonction de caractéristiques de la ration (UEL et UFL du fourrage, densité énergétique du fourrage UFL/UEL, UFL de l'aliment concentré) et de l'animal (production de lait 4 %). Il est important de remarquer que, si Sg(R) diminue avec la valeur d'encombrement du fourrage, comme dans la précédente version du système, il diminue également de façon importante avec le niveau de production de lait 4 %. Par contre il augmente avec la valeur énergétique du fourrage, et dans une moindre mesure avec celle de l'aliment concentr
D'une façon générale, tous les facteurs qui sont à l'origine d'u
augmentation de (R) font diminuer la valeur de Sg(R), Sm(
étant toujours égal à 0,55 quel que soit R.

Connaissant R, le modèle permet de décrire facilement l
phénomènes de substitution pour des quantités d'aliments co
centrés différentes. Cependant il ne peut décrire les variatio
de Sm que dans des cas où l'apport d'aliments concentrés n'e
cède pas 50 % de la matière sèche de la ration. Des exempl
de variation de Sm et de Sg en fonction des quantités d'alimen
concentrés ingérées sont présentés à la figure 6 pour quelqu
types de fourrages et pour des animaux ayant des potentiels d
production différents.

Une vérification a été effectuée a posteriori sur 31 essa
bibliographiques réalisés avec plusieurs niveaux d'apports d'a
ments concentrés (centrés ou non par rapport à R). La prédi
tion (figure 7) par le modèle des variations des quantités d
matière sèche (MS) ingérées de la ration de base provoquées p
une augmentation de la distribution d'aliments concentrés e
relativement précise (σ = 0,3, r^2 = 0,8 n = 31)) et présen
un biais très faible (0,2 kg de MS). La comparaison des Sm pr
dits par rapport à ceux observés est assez bonne (σ = 0,1, r^2 =
0,59 n = 31) compte tenu du fait que l'estimation expé
mentale de Sm est elle-même sujette à une erreur importan

Enfin, parmi les facteurs de variation du taux de substi
tion, il en reste un dont nous n'avons pas tenu compte jusq

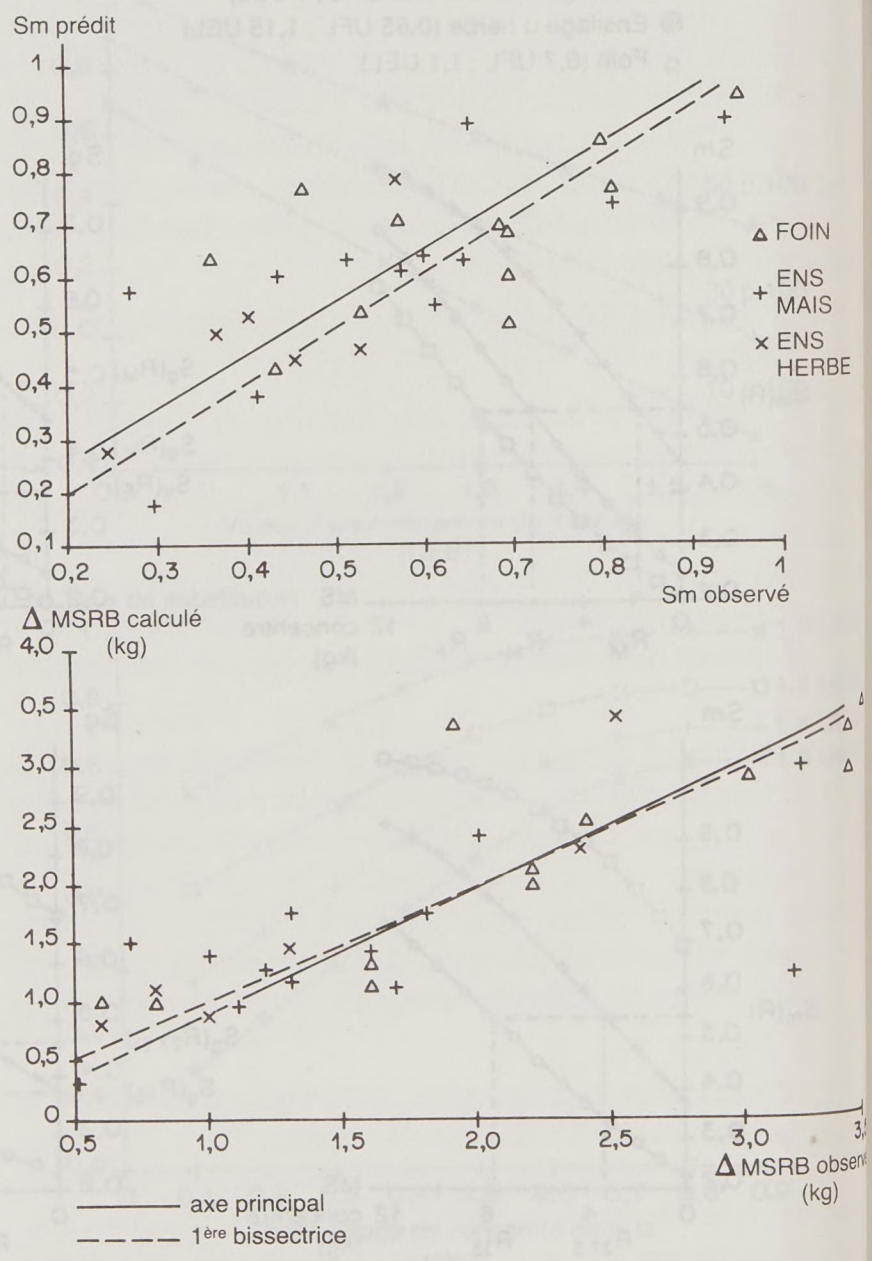


FIG. 7 : *Vérification des prédictions de taux de substitution margin (Sm) et des variations de quantités de MS de rations de fo rages (Δ MSRB) sur différents essais de la bibliographie, à p sieurs niveaux d'apports d'aliments concentrés.*

maintenant : la nature de l'aliment concentré. En plus des essais sur moutons (BERGE et DULPHY, 1985) quelques essais ont été réalisés à l'INRA sur des vaches laitières (VERITE et DULPHY, 1981 ; DULPHY *et al.*, 1987 ; VERITE, non publié ; FAVERDIN et DULPHY, non publié). Dans leurs conditions d'utilisation ordinaires (15 à 35 % dans la ration en matière sèche) les aliments concentrés à base de céréales ou de pulpe de betteraves induisent des valeurs de Sm identiques (0,44 en moyenne) plus élevées que celles des concentrés à base de son (0,34 en moyenne). Compte tenu de la proportion modérée de son dans les concentrés du commerce, on négligera donc, pour l'instant, l'effet de la nature du concentré. On notera cependant que le modèle proposé plus haut prend partiellement en compte ce problème par le biais de la valeur énergétique du concentré (Sg diminue lorsque la valeur énergétique diminue).

IV. Capacité d'ingestion des animaux et calcul des rations

Pour que le système des Unités d'Encombrement soit utilisable il faut connaître les valeurs de la capacité d'ingestion des différentes catégories de ruminants domestiques, en UEM, UEB ou UEL selon les cas. Ces valeurs seront données plus loin, dans les textes suivants, pour :

— les vaches laitières
— les chèvres laitières
— les vaches allaitantes
— les bovins d'élevage
— les bovins en croissance et à l'engrais
— les brebis.

Rappelons que dans le calcul des rations il faut résoudre les 2 équations suivantes, dans lesquelles X et Y sont les quantités de fourrage et d'aliment concentré en kg de MS :

(a) X × UE fourrage + Y × UE concentré = capacité d'ingestion

(b) X × UF fourrage + Y × UF concentré = recommandations d'apports énergétiques.

Or on a : UE concentré = Sg × UE fourrage (cf. plus haut).

La première équation devient alors :

(a) UE fourrage (X + Y Sg) = capacité d'ingestion

Il n'est plus besoin alors de s'intéresser à la valeur d'encombrement de l'aliment concentré, mais aux taux de substitution dont nous avons donné les lois de variation plus haut.

Les méthodes de calcul des rations sont aussi données dans les textes par catégories d'animaux (dans ce même numéro).

Conclusion

Par rapport à la proposition de 1978, puis de 1979, le système des Unités d'Encombrement a donc été amélioré. Il faut souligner cependant la difficulté qui existe pour prendre en compte dans un système additif simple le très grand nombre de facteurs et d'interactions. Cela conduit forcément à des modèles parfois complexes dont la précision pourra être encore améliorée à l'avenir.

Tout d'abord l'effet animal a été beaucoup plus pris en compte. La création de deux UE pour les bovins devrait permettre de mieux appréhender la gamme de variation des types d'animaux de cette espèce.

Quelques difficultés pourraient subsister pour des animaux à caractéristiques extrêmes ou intermédiaires, mais il n'est pas souhaitable de multiplier les UE par espèce. Par contre il sera nécessaire d'examiner de plus près ce qu'il en est pour les caprins.

L'effet type de fourrage a aussi été mieux pris en compte en utilisant les mesures par catégorie de fourrage (fourrages verts, foins, ensilages) et par catégories d'animaux. Néanmoins, le nombre de mesures sur bovins est bien plus faible que celui sur ovins et il subsiste bien des incertitudes, en particulier sur l'effet des conditions de préparation des foins et celui des techniques d'ensilage sur les QIB et QIVL. En particulier on ne sait pratiquement pas comment réagissent précisément les différentes catégories d'animaux.

Les lois de variations du taux de substitution ont été affinées, surtout pour les vaches laitières. Le système de prévision proposé pour ces animaux a été débarassé de quelques défauts. Il devrait être plus précis tout en conservant les principes de base.

Néanmoins de nombreuses autres améliorations devront être apportées au système sur les points suivants :

— passage des fourrages verts aux fourrages conservés,
— loi de variation des taux de substitution pour les bovins en croissance et les brebis,
— prévision des ingestibilités à partir de critères de laboratoire pour les bovins.

En outre une méthode de calcul devra être proposée pour les rations complètes (fourrages et concentrés mélangés) qui commencent à être utilisées.

Par ailleurs, le système proposé n'intègre pas véritablement la notion de valeur d'encombrement de l'aliment concentré puisque on intégre dans cette valeur toutes les variations du taux de substitution qui, en fait, dépendent plus de la ration. Il serait donc concevable, à l'avenir, de donner, comme aux fourrages, une valeur d'encombrement fixe aux concentrés. Dans ces conditions, les interactions fourrage-concentré devraient être prises en compte au niveau de la ration.

En fin de compte, le système pourra encore évoluer et être amélioré au fur et à mesure que les connaissances progresseront. En particulier, le recours à de nouvelles mesures faites directement sur bovins, dans des situations très variées, limitera la nécessité de faire des calculs à partir des valeurs obtenues sur mouton, situation entraînant toujours quelques biais. Le développement d'autres systèmes à l'étranger, comme cela se passe actuellement au Danemark, stimulera aussi l'évolution du système proposé ici.

Références bibliographiques

BERGE Ph., DULPHY J.P., 1985. Etude des interactions entre fourrage et aliment concentré chez le mouton. I — Facteurs de variation du taux de substitution. Ann. Zootech., **34**, 313-334.

BOCQUIER F., THERIEZ M., BRELURUT A., 1987. Utilisation du foin par la brebis. 423-455, in C. Demarquilly Ed. «Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation», INRA, Paris.

CHENOST M., GRENET N., HODEN A., 1987. Utilisation des pailles par les animaux en croissance, 319-334, in C. Demarquilly Ed. «Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation», INRA, Paris.

DEMARQUILLY C., WEISS Ph., 1971. Liaisons entre les quantités de matière sèche de fourrages verts ingérées par les moutons et celles ingérées par les bovins. Ann. Zootech., **20**, 119-134.

DULPHY J.P., 1987. Utilisation des foins par les vaches laitières. 335-360, in C. Demarquilly Ed. «Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation», INRA, Paris.

DULPHY J.P., ANDRIEU J.P., ROUEL J., 1987. Effet de la nature de l'aliment concentré sur les performances de vaches laitières recevant une ration à base de foin. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **67**, 43-47.

DULPHY J.P., D'HOUR P., 1987. Comparaison des quantités de fourrage vert ingérées entre des vaches laitières, des génisses de race laitière, des génisses de race à viande et des moutons. Reprod. Nutr. Dévelop., **27**, 1 B, 209-210.

DULPHY J.P., MICHALET-DOREAU B., 1981. Prévision de l'ingestibilité des ensilages d'herbe. 169-187, in «Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants». Ed. INRA Publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

DULPHY J.P., MICHALET-DOREAU B., 1983. Comportement alimentaire et mérycique d'ovins et de bovins recevant des fourrages verts. Ann. Zootech., **32**, 465-474.

DULPHY J.P., MICHALET-DOREAU B., DEMARQUILLY C., 1984. Etude comparée des quantités ingérées et du comportement alimentaire et mérycique d'ovins et de bovins recevant des ensilages d'herbe réalisés selon différentes techniques. Ann. Zootech., **33**, 291-320.

FAVERDIN P., HODEN A., COULON J.B., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches laitières. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

INRA, 1978. Alimentation des Ruminants. Ed. INRA Publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

INRA, 1981. Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminan Ed. INRA Publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

JARRIGE R. *et al.*, 1979. Le système des unités d'encombrement po les bovins. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **38**, 57-79.

JARRIGE R. *et al.*, 1986. The INRA «fill unit» system for predicti the voluntary intake of forage-based diets in ruminants. A review. Anim. Sci., **63**, 1737-1758.

LEAVER J.D., CAMPLING R.C., HOLMES W., 1968. The influen of flexible and rigid grazing management and of supplementary fe on output per hectare and per cow. Anim. Prod., **11**, 161-172.

MEIJS J.A.C., 1981. Herbage intake by grazing dairy cows. Agric tural Research Reports 909. 264 p. Institute for Livestock Feeding a Nutrition Research. «Hoorn». Lelystad, The Netherlands.

MEIJS J.A.C., HOEKSTRA J.A., 1984. Concentrate supplementati of grazing dairy cows. 1. Effect of concentrate intake and herbage all wance on herbage intake. Grass and Forage Science, **39**, 59-66.

MICHALET-DOREAU B., GATEL F., 1983. Evolution au cours d'u année des quantités de foin ingérées par des béliers castrés. Ann. Zo tech., **32**, 459-464.

SARKER A.B., HOLMES W., 1974. The influence of supplement feeding on the herbage intake and grazing behaviour of dry cows. J. Grassl Soc., **29**, 141-143.

STAKELUM G., 1986a. Herbage intake of grazing dairy cows. 1. Eff of autumn supplementation with concentrates and herbage allowa on herbage intake. Ir. J. Agric. Res., **25**, 31-40.

STAKELUM G., 1986b. Herbage intake of grazing dairy cows. 2. Eff of herbage allowance, herbage mass and concentrate feeding on intake of cows grazing primary spring grass. Ir. J. Agric. Res., **25**, 41-

VERITE R., DULPHY J.P., 1981. Effet de la nature de l'aliment co centré sur l'ingestion et les performances des vaches laitières. Bull. Tec CRZV Theix, INRA, **45**, 15-21.

VERITE R., JOURNET M., 1970. Influence de la teneur en eau et la déshydratation de l'herbe sur sa valeur alimentaire pour les vac laitières. Ann. Zootech., **19**, 255-268.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 49-60

Méthodes d'estimation des constituants pariétaux dans les aliments destinés aux ruminants

Sylvie GIGER * et Sylvie POCHET **

** INRA-INA P-G, Station de Nutrition et d'Alimentation, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cédex 05*
*** INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Digestion, 63122 Ceyrat.*

Les constituants chimiques des parois cellulaires végétales sont essentiellement des polymères dont la nature est, soit glucidique, comme la cellulose, les hémicelluloses et les substances pectiques, soit non glucidique, comme la lignine. Des substances phénoliques, des matières azotées et des matières minérales sont également présentes, mais en quantités beaucoup plus faibles. Dans la paroi cellulaire, les hémicelluloses et la lignine sont plus ou moins liées par des liaisons chimiques et forment une matrice macromoléculaire qui enrobe la trame de cellulose. Les substances pectiques sont peu liées à ces structures.

I. Propriétés chimiques des constituants pariétaux

La cellulose est, quantitativement, le constituant le plus important de la paroi cellulaire, comme dans les téguments de la plupart des graines (40 à 50 % de la matière sèche), dans les fourrages et les pulpes de betteraves (11 à 30 %) et les graines de protéagineux et d'oléagineux (3 à 15 %). Par contre, elle est présente en faibles quantités (de 1 à 5 %) dans la majorité des céréales. L'avoine fait exception dans ce groupe (10 %). La cellulose est composée de chaînes linéaires de glucose à haut degré de polymérisation (10 à 15000 unités), dont la régularité de structure favorise la formation de réseaux cristallins très résistants à l'action des principaux réactifs chimiques. De ce fait, elle ne peut être extraite que par l'action d'acides minéraux forts et concentrés (acide fluorhydrique anhydre, sulfurique à 72 %, chlorhydrique à 40 %, phosphorique à 84 %). Elle est insoluble dans l'eau, dans les solvants organiques, dans l'acide nitrique et dans les acides minéraux dilués. L'action des alcalis se limite à une action sur la structure (gonflement dû à la rupture des liaisons faibles entre chaînes).

Les hémicelluloses, en moins grande quantité, constituent néanmoins de 10 à 25 % de la matière sèche des fourrages et des sous-produits agro-industriels (sons, tourteaux, téguments et pulpes), et de 2 à 12 % environ de celle des graines et des racines. Les hémicelluloses, comparativement à la cellulose, sont des polymères de plus faible degré de polymérisation, plus ou moins ramifiés et composés de différents types de glucides (pentoses, hexoses et acides uroniques) qui ne forment pas, sauf exception comme les mannanes du tourteau de palmiste, des structures à résistance élevée. Elles sont donc plus facilement extraites que la cellulose. Il est toutefois nécessaire de rompre les liaisons les associant à la lignine et à la cellulose. Les alcalis, bien qu'efficaces, sont peu utilisés parce qu'ils solubilisent les hémicelluloses, sans les hydrolyser totalement, et, en même temps, une partie de la lignine, notamment aux températures élevées. Les fractions riches en pentoses sont solubles dans les alcalis dilués (solutions à 5 ou 10 %), tandis que les fractions riches en hexoses ne se solubilisent qu'à des concentrations plus fortes (17 à 24 %) ou en présence de borates (BAILEY, 1973). Les acides dilués (concentration 1 à 2 N) sont les plus utilisés ; à chaud, ils extraient et hydrolysent totalement les chaînes d'hémicelluloses mais en solubilisant une partie de la lignine (AGOSIN, 1985). Cette solubilisation est plus importante pour les monocotylédones, comme les graminées, que pour les dicotylédones, comme les légumineuses.

La lignine est présente, en quantité faible, dans la plupart des aliments concentrés et des fourrages jeunes (moins de 5 %). Sa teneur croît avec l'âge des fourrages, et peut atteindre 12 %. La lignine est un polymère composé d'unités phényl-propane, de structure très complexe et de haut poids moléculaire, dont la résistance à la plupart des agents chimiques précités constitue la caractéristique principale : à part les fractions solubilisées avec les hémicelluloses, la lignine est extraite uniquement par l'action d'oxydants forts comme l'hypochlorite, le permanganate de potassium ou le triéthylène glycol en milieu acide, et en partie par le bisulfite.

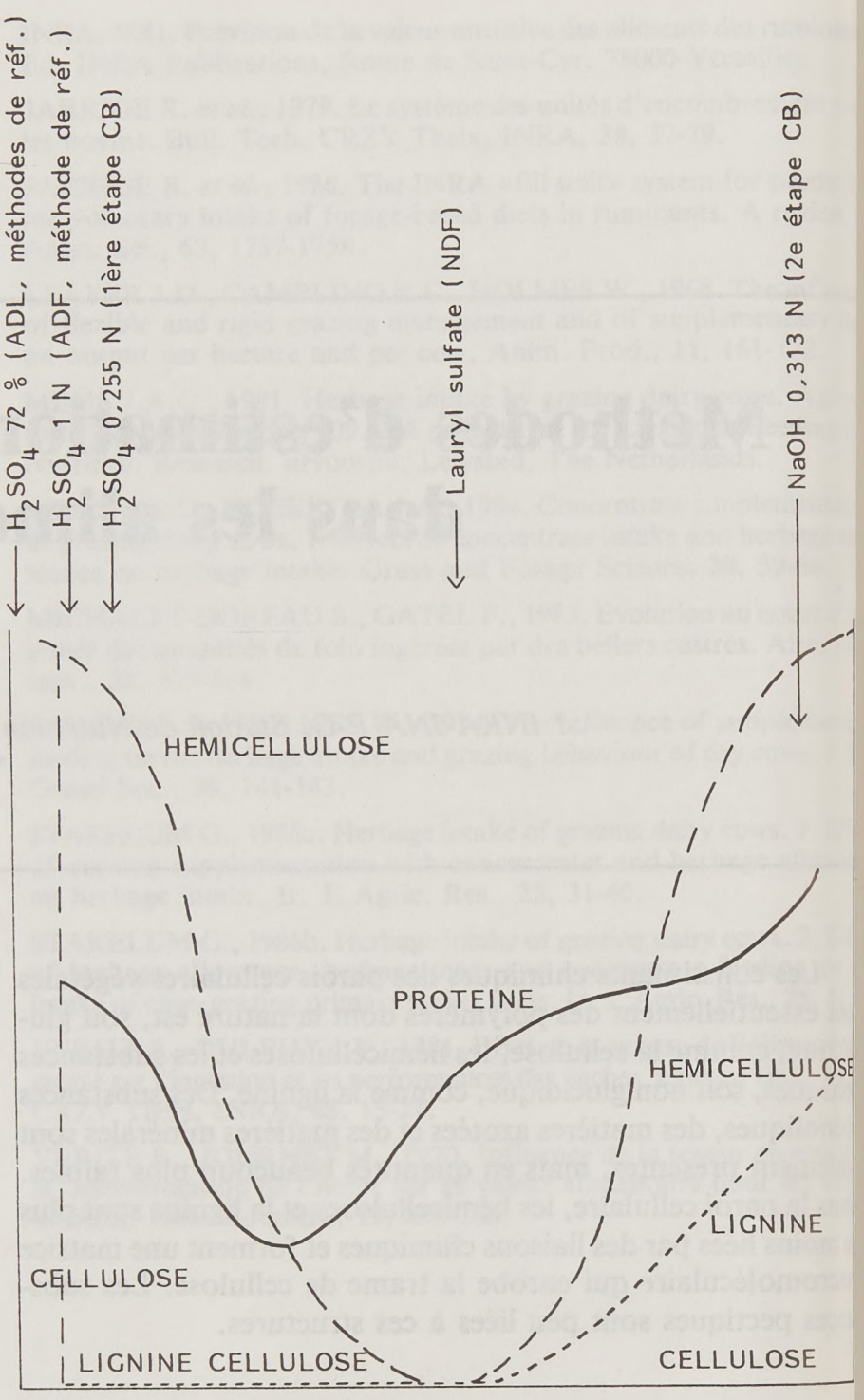
Les substances pectiques sont des constituants mineurs de la plupart des aliments destinés aux ruminants. Elles sont surtout présentes, sous forme de polymères d'acide galacturonique associés à une fraction d'oses neutres, dans les tissus jeunes, les téguments des graines de dicotylédones, ainsi que les pulpes des betteraves et des fruits. Les substances pectiques sont facilement

extraites par de l'eau chaude contenant des agents chélatants (EDTA ou Acide Ethylène Diamine Tétraacétique, oxalate d'ammonium) ou hydrolysées par des alcalis ou des acides dilués.

Pour mémoire, nous citerons encore les **acides phénoliques** (p-coumarique, férulique et diférulique) liés chimiquement, notamment aux hémicelluloses et à la lignine dans le cas des graminées (HARTLEY et JONES, 1977). L'insolubilité des **protéines** les plus résistantes à l'action des agents chimiques d'extraction est due à des liaisons intermoléculaires entre certains acides aminés (tyrosine). **Les minéraux** sont présents dans les parois de certaines cellules (silice des feuilles de graminées) ou proviennent de contaminations extérieures (terre pour les fourrages récoltés : AERTS *et al.*, 1978). Enfin, les cellules épidermiques de la paroi cellulaire peuvent être recouvertes d'une couche de lipides complexes (cutine pour les organes aériens, subérine pour les organes souterrains), qui doivent être saponifiés, puis hydrolysés afin d'être extraits.

Une description plus complète de la structure et du comportement des constitutants pariétaux a été faite dans l'ouvrage coordonné par MONTIES (1980). Le point sur la composition pariétale a été fait par JARRIGE (1963) pour les fourrages et par THIVEND (1981) pour les aliments concentrés.

La plupart des propriétés physico-chimiques des constituants pariétaux (solubilités différentielles) évoquées auparavant ont été utilisées seules ou en combinaison dans les méthodes d'analyse des constituants pariétaux (figure 1). Le principe général de ces méthodes (figure 2) repose sur des extractions à la suite desquelles on peut récupérer par filtration, d'une part le résidu qui est pesé après séchage et, d'autre part, le filtrat sur lequel il est possible d'effectuer des dosages spécifiques, donc plus précis, des sucres extraits. L'analyse des filtrats intervient uniquement pour des méthodes d'analyse fines qui ne seront évoquées ici qu'à titre de référence. La plupart des critères pariétaux utilisés en alimentation animale sont obtenus par gravimétrie, c'est-à-dire par pesée directe des résidus, ou par différence entre les poids des résidus issus de deux extractions successives (mesure de la matière sèche extraite).



NDF = Neutral-Detergent-Fiber
ADF = Acid-Detergent-Fiber
ADL = Acid-Detergent-Lignin
CB = Cellulose Brute

FIG. 1 : *Solubilité des différents constituants pariétaux.*

II. Préparation des échantillons pour l'analyse des constituants pariétaux

Cette étape est extrêmement importante puisqu'elle conditionne la précision et la signification des résultats obtenus.

Le séchage avant analyse des échantillons riches en eau et en gllucides solubles (cas des fourrages verts et jeunes, par exemple), à des températures dépassant 60° C, peut conduire à la formation de complexes entre les glucides et les matières azotées surtout si elles sont présentes sous forme aminée. Ces complexes, encore appelés «composés de MAILLARD», résistent à la plupart des agents chimiques et des enzymes au cours des différents traitements. La lyophilisation, qui est un procédé long, est actuellement le meilleur procédé de déshydratation.

Le broyage doit être suffisamment fin et homogène, et surtout effectué de manière standardisée. Il influence, en effet, la représentativité de l'échantillonnage lors de la prise d'essai pour l'analyse, l'étendue de la surface d'attaque par les agents d'extraction et le comportement physique des résidus lors des filtrations : une faible vitesse de filtration conduit à la surestimation des résidus.

III. Estimation de la teneur en paroi cellulair

1. Extraction du contenu cellulaire par un détergent (Méthode de VAN SOEST et WINE, 1967)

Le résidu paroi cellulaire (Neutral Detergent Fiber ou ND en anglais) s'obtient par l'action combinée, en milieu neutre tamponné, d'un détergent (le lauryl sulfate de sodium) qui él mine l'essentiel du contenu cellulaire, et en particulier, les pro téines et les complexes tanins-protéines (ROBERTSON et VA SOEST, 1981), et d'un agent chélatant qui solubilise les subs tances pectiques (figure 2 D). Le NDF renferme donc, en théo rie, l'ensemble des hémicelluloses, de la cellulose et de la lignin Toutefois, des études sur la composition du NDF de plusieur types d'aliments montre que celui-ci ne renferme pas la totali des substances pariétales dont une partie est solubilisée par l solution détergente. Cela concerne la fraction des hémicellulo ses riche en arabinose qui est la plus fragile (luzerne, pulpes d betteraves, drèches) (RIQUET, 1979) et une fraction de la lignin (BAILEY et ULYATT, 1970 ; COLBURN et EVANS, 196 et des substances minérales (silice, en particulier). Cependan

A) - Méthode de WEENDE (NF V03-040, 1977)

Pesée de 3 g d'échantillon (PES)

↓

Extraction à reflux pendant 30 mn avec 200 ml de **solution d'acide sulfurique 0,255 N**

Filtration, rinçage du résidu à l'eau bouillante

↓

Extraction à reflux pendant 30 mn avec 200 ml de **solution de soude 0,313 N**

Filtration, rinçcage du résidu à l'eau bouillante puis à l'acétone

Séchage à 130°C (poids constant) - Pesée (P_1)

↓

Minéralisation à 550°C - Pesée (P_2)

$$C.B.\ (\%\ MS) = (P_1 - P_2) \times 100/PES$$

(Méthode appliquée au FIBERTEC)

B) - Méthode de GUILLEMET et PRECEPTIS (1942)

Pesée de 1 g d'échantillon (PES)

↓

Extraction à reflux pendant 75 mn avec 50 ml de **solution d'acide formique 80 %**

Filtration, rinçage du résidu à l'eau bouillante puis à l'alcool et à l'éther éthylique

Séchage à 100°C (poids constant) - Pesée (P_1)

↓

Minéralisation à 550°C - Pesée (P_2)

$$I.F.\ (\%\ MS) = (P_1 - P_2) \times 100 / PES$$

C) - Méthode de SCHARRER et KUERSCHNER (1931) adaptée par NEHRING (1969)

Pesée de 2 g d'échantillon séché à l'air

↓

Extraction à reflux pendant 20 mn, solution avec 30 ml **d'acide acétique 30 %** et 5 ml **d'acide nitrique concentré**

Filtration, lavage à l'acide acétique 80 %, puis à l'acétone

↓

Séchage pendant 2 heures à 105°C - Pesée (P_1)

↓

Minéralisation à 550°C - Pesée (P_2)

$$Cellulose = (P_1 - P_2) \times 100 / PES$$

D) - Méthode de VAN SOEST et WINE (1967)

Pesée de 1 g d'échantillon (PES)

↓

Extraction à reflux pendant 60 mn avec 100 ml de **solution detergent neutre**

Filtration, rinçage du résidu à l'eau bouillante puis à l'acétone

Séchage à 103°C (poids constant) - Pesée (P_1)

↓

Minéralisation à 550°C - Pesée (P_2)

$$NDF\ (\%\ MS) = (P_1 - P_2) \times 100 / PES$$

(Méthode appliquée au FIBERTEC)

E) - Méthode de VAN SOEST (1963)

Pesée de 1 g d'échantillon (PES) (au reprise du résidu NDF)

↓

Extraction à reflux pendant 60 mn avec 100 ml de **solution detergente acide**

Filtration, rinçage du résidu à l'eau bouillante puis à l'acétone

Séchage à 103°C (poids constant) - Pesée (P_1)

Minéralisation à 550°C - Pesée (P_2)

↓

Extraction à température ambiante pendant 3 heures avec de l'**acide sulfurique 72 % (P/P)**

Filtraction, rinçage du résidu à l'eau bouillante

Séchage à 103°C (poids constant) - Pesée (P_3)

↓

Minéralisation à 550°C - Pesée (P_4)

$$ADF\ (\%\ MS) = (P_1 - P_2) \times 100 / PES$$

$$ADL\ (\%\ MS) = (P_3 - P_4) \times 100 / PES$$

$$Hémicellulose = NDF - ADF$$

$$Cellulose = ADF - ADL$$

(Méthode appliquée au FIBERTEC)

F) - Méthode de JARRIGE (1961)

Pesée de 1 à 2 g d'échantillon (PES)

↓

Extraction à 40°C jusqu'à épuisement avec de l'**eau distillée**

↓

Extraction au soxlhet pendant 16 heures avec un **mélange alcool / benzène** (1/2)

↓

Extraction à reflux pendant 3 heures avec une solution d'**acide sulfurique 5 %** (P/V)

Filtration, rinçage du résidu à l'eau bouillante

Récupération quantitative des filtrats (F1)

↓

Extraction à température ambiante pendant 4 heures avec du l'**acide sulfurique à 72 %** (P/P) puis **dilution à l'eau jusqu'à concentration 5 %**

Extraction à reflux pendant 3 heures

Filtration, rincage du résidu à l'eau bouillante

Récupération quantitative des filtrats (F_2)

↓

Séchage à 80°C (poids constant) - Pesée (P_1)

↓

Minéralisation à 550°C - Pesée (P_2)

$$Hémicellulose = \left[\text{pouvoir réducteur total du filtrat 1}\right] \times 0,90 \times 100/PES$$

$$Cellulose = \left[\text{pouvoir réducteur total du filtrat 2}\right] \times 0,90 \times 100/PES$$

$$Lignine = (P_1 - P_2) \times 100/PES$$

(Appliquée au Fibertec modifié - POCHET, 1987)

FIG. 2 : *Schéma des principales méthodes d'estimation des constituants pariétaux.*

la suppression du bisulfite de sodium (VAN SOEST et ROBERTSON, 1979) diminue significativement les pertes en lignine (GIGER, 1987). Le résidu NDF contient également une fraction variable des matières azotées : de 3 à 15 % pour les fourrages (JARRIGE, 1981) et de 1 à 20 % pour les aliments concentrés (CARRE et BRILLOUET, 1986).

2. Extraction du contenu cellulaire par de l'eau ou des solvants (Méthodes de JARRIGE (1961), SALO (1965) et SOUTHGATE (1969)

Ces méthodes utilisent des étapes intermédiaires qui permettent de dissocier, dans le contenu cellulaire, les glucides cytoplasmiques de faible degré de polymérisation qui sont solubles, soit dans l'éthanol à 80 % (SALO, 1965) ou dans le méthanol à 85 % (SOUTHGATE, 1969) lorsque leur degré de polymérisation est inférieur à 15, soit dans l'eau chaude (JARRIGE, 1961), lorsqu'il est inférieur à 30, des substances uniquement solubles dans les solvants, comme les pigments et les lipides (JARRIGE, 1961) (figure 2 F). Ces méthodes respectent mieux l'intégrité des constituants pariétaux : elles solubilisent, en effet, peu de lignine, sauf dans le cas de l'éthanol à chaud, (JARRIGE, 1961) et peu de substances pectiques. Cependant, les parois cellulaires ainsi isolées sont plus contaminées par les matières azotées que le NDF. Ces méthodes sont, en outre, plus délicates et plus longues à mettre en œuvre que la méthode au détergent neutre de VAN SOEST et WINE (1967) en raison de l'extraction nécessaire des matières grasses. De ce fait, cette dernière méthode est préférée aux méthodes de référence pour l'estimation, en dosage de routine, de la teneur en paroi cellulaire.

3. Cas particuliers des aliments concentrés

Les traitements, évoqués précédemment, ne suffisent pas à éliminer la totalité du contenu cellulaire, dans le cas des aliments concentrés particulièrement riches en amidon, en matières azotées ou en matières grasses. Les traitements enzymatiques, permettent généralement, d'une part, de diminuer la contamination des parois cellulaires sans entraîner la solubilisation d'une partie de leurs constituants et, d'autre part, de résoudre parallèlement certains problèmes techniques, plus particulièrement de filtration. Les enzymes utilisées doivent être suffisamment purifiées pour ne pas présenter d'activité hémicellulasique ou cellulasique.

Dès que la teneur en amidon des aliments dépasse 5 à 10 % (VAN SOEST et ROBERTSON, 1979), il est nécessaire d'effectuer un prétraitement par une enzyme (tab. 1) amylasique (ROBERTSON et VAN SOEST, 1977) ou amyloglucosidasique (TERRY et OUTEN, 1973). Différentes méthodes ont été proposées et comparées par MASCARENHAS FERREIRA *et al.*, (1983). Certaines méthodes ne modifient pas les valeurs des teneurs en parois cellulaires pour des aliments pauvres en amidon et permettent d'estimer correctement celles des aliments riches en substances amylacées ou pectiques. Cependant, il semble que certains types d'amidon, comme ceux présents dans le pois, la féverole, le sorgho et le maïs ne puissent être totalement éliminés du résidu NDF (CARRE et BRILLOUET, 1986 ; GIGER *et al.*, 1987). Une préhydrolyse incluant une amyloglucosidase serait plus efficace. Cette méthode, qui est plus longue, permet, à partir de la même prise d'essai de déterminer les teneurs en NDF et amidon (POCHET et THIVEND, non publié).

La gélatinisation de l'amidon, qui est souvent effectuée avant l'hydrolyse enzymatique, à température élevée, doit être de courte durée afin d'éviter la formation de complexes de type MAILLARD qui deviennent résistants à l'action des agents d'extraction et, de ce fait, augmentent artificiellement la teneur en constituants pariétaux des échantillons (HALE, 1973). De même, le refroidissement du milieu réactionnel, nécessaire pour obtenir la température optimale d'action de l'enzyme (entre 45 et 55°C pour l'amyloglucosidase et la plupart des enzymes bactériennes), ne doit pas être trop important, car il favorise la rétrogradation de l'amidon qui devient alors plus résistant à l'hydrolyse (ENGLYST et CUMMINGS, 1986).

TABLEAU 1

Enzymes utilisés pour l'élimination de l'amidon en vue de l'analyse des parois

Enzyme	Origine	AUTEURS
Amylase	pancréatique	SCHALLER (1976) SCHWEIZER et WURSCH (1979) ENGLYST, WIGGINS et CUMMINGS (1982) MASCARHENAS, KERSTENS et GAST (1983)
	bactérienne	ROBERTSON et VAN SOEST (1977) Mc QUEEN et NICHOLSON (1979) GIGER (1980) - GIGER et al. (1987) BRILLOUET et CARRE (1983) MASCARHENAS, KERSTENS et GAST (1983)
	fongique	PROSKY et al. (1984) Mc QUEEN et NICHOLSON (1979)
	thermorésistante	THEANDER et AMAN (1979) ASP et al. (1983)
Amyloglucosidase		SOUTHGATE (1969) POCHET et THIVEND (*à paraître*)

Dans le cas des échantillons dont la teneur en **matières azotées** dépasse 30 % (comme par exemple pour les tourteaux), l'action du lauryl sulfate de sodium ne suffit pas toujours et doit être associée à celle d'enzymes protéolytiques d'origine gastrointestinale ou bactérienne. Certaines enzymes amylotytiques imparfaitement purifiées ont également une activité protéasique non négligeable, ce qui peut présenter un intérêt pratique certain. Néanmoins, les composés de MAILLARD et les complexes tanins-protéines ne sont pas totalement éliminés (VAN SOEST *et al.*, 1987). Le bisulfite de sodium, inclus dans la méthode initiale, présentait l'intérêt de détruire les ponts disulfure qui lient les protéines entre elles de manière forte et qui les rendent résistantes à l'action des différents agents. Mais, son utilisation est incompatible avec une détermination de la teneur en lignine.

La délipidation des échantillons riches en **matières grasses** (plus de 10 % de la matière sèche) peut être effectuée par simple rinçage à froid à l'acétone ou à l'éthanol (VAN SOEST et ROBERTSON, 1979) ou par des méthodes plus longues (mélange éthanol/éther à chaud (MAHONEY *et al.*, 1981).

Le résidu NDF permet une estimation rapide et à peu près correcte de la teneur en parois cellulaires des aliments, du moins quand les prétraitements nécessaires ont été bien standardisés (DELORT-LAVAL *et al.*, 1980). A défaut, la teneur en NDF est peu répétable et peut être largement surestimée (tabl. 2).

TABLEAU 2

Influence de l'élimination de l'amidon sur la valeur NDF (en p. cent de la matière sèche)

	Elimination de l'amidon puis détergent neutre	Détergent neutre
Concentré n° 1 (a)	16,8	18,1
n° 2	23,7	29,3
n° 3	39,9	42,4
n° 4	28,8	38,1
Ensilage de Maïs (a)	69,7	71,9
Son de blé (b)	38,4	47,5
	49,8	54,2
	49,1	55,8
(c)	33,9	39,2
(d)	37,0	43,6
Pulpe de pomme de terre (d)	27,9 (0,19)	36,2 (0,38)
	29,1 (0,26)	31,6 (0,56)
	26,8 (0,40)	32,2 (0,80)

(a) GIGER (1979)
(b) SCHWEIZER et WURSCH (1979)
(c) HECKMAN et LANE (1981)
(d) POCHET (*non publié*) - Moyenne (écart-type sur des triples)

Cependant, les différents problèmes de filtration rencontrés dans le cas des aliments concentrés et l'utilisation de prétraitements expliquent que ce critère qui ne permet pas de gain significatif dans la prévision de la valeur nutritive des aliments, une fois prise en compte la lignine, ne soit indiqué qu'à titre descriptif dans les tables.

IV. Estimation d'un résidu lignocellulosique

1. La cellulose brute (méthode de WEENDE)

La méthode de WEENDE est la plus ancienne méthode de détermination d'un critère pariétal. Elle reste la méthode officielle, la plus utilisée, pour l'estimation de la teneur en paroi cellulaire.

L'échantillon subit, successivement, deux attaques à chaud, l'une par un acide minéral dilué et l'autre par une base diluée. Le résidu déminéralisé, ainsi obtenu, s'appelle la cellulose brute (CB) ou Crude Fiber (CF) dans les pays anglo-saxons (figure 2 A). Ce résidu se caractérise, d'une part, par sa signification biochimique insuffisante, et d'autre part, par la variabilité de sa composition entre les différents types d'aliments (tabl. 3). Les traitements solubilisent, en effet, non seulement la quasi-totalité des constituants cellulaires et, en particulier, les protéines et les matières grasses, mais également de 30 à 100 % de la cellulose (NEHRING et HOFFMANN, 1969), de 14 à 20 % des pentosanes (KIM *et al.*, 1967) et de 16 à 90 % de la lignine (NEHRING et HOFFMANN, 1969). Les composés pariétaux solubilisés sont comptabilisés avec les glucides solubles et l'amidon dans ce qu'on appelle l'Extractif Non Azoté (ENA).

2. L'insoluble formique (Méthode de GUILLEMET et PRECEPTIS, 1942)

Cette méthode permet d'isoler un résidu lignocellulosique après action de l'acide formique concentré et à chaud (figure 2 B). L'emploi de cet acide semble particulièrement intéressant pour la plupart des aliments concentrés (grains et tourteaux), puisqu'il dissout à lui seul la plupart des matières azotées et de l'amidon. La composition de l'insoluble formique des fourrages est très proche de celle de WEENDE (JARRIGE, 1981). Cette méthode est plus simple et plus rapide à mettre en œuvre que celle de la cellulose brute. Cependant, le danger représenté par la manipulation de l'acide formique à chaud explique le fait qu'elle a été très peu utilisée.

3. L'Acid Detergent Fiber (Méthode de VAN SOEST, 1963)

La démarche généralement adoptée dans la plupart des méthodes de référence pour l'obtention de résidus lignocellulosiques consiste à extraire d'abord le contenu cellulaire, et en particulier les matières grasses, puis à éliminer les hémicelluloses en utilisant un acide minéral dilué à température élevée. Cet acide est de l'acide sulfurique 1 N dans la Normal Acid Fiber ou NAF de WALKER et HEPBURN (1955) ou 1,2 N dans la méthode de JARRIGE (1961), ou de l'acide chlorhydrique 0,7 N dans celle proposée par SALO (1965). Dans la méthode de VAN SOEST (1963), un détergent (le bromure de cétyltriméthylammonium ou CTAB) est associé à l'acide sulfurique normal, ce qui permet de remplacer les deux étapes par une seule de courte durée (1 heure) (figure 2 E). En effet, le détergent a pour rôle double d'éliminer les substances lipidiques, lorsqu'elles ne sont pas en quantités trop importantes (VAN SOEST, 1963) et de préparer un résidu ADF au plus faible taux azoté. Cette simplification de la méthodologie, qui est un atout majeur de cette méthode, explique le développement important de cette méthode dans les pays anglo-saxons.

L'ADF obtenu directement à partir de l'échantillon contient virtuellement toute la cellulose et la lignine (KIM *et al.*,

1967 ; JARRIGE, 1981), mais également des polyosides non cellulosiques (2 à 50 %) et des substances azotées (1 à 25 %) (BAILEY et ULYATT, 1970 ; RINAUDO et CHAMBAT, 1976 ; RIQUET, 1979 ; THEANDER et AMAN, 1980) (tableau 4). La contamination par des glucides non cellulosiques (substances pectiques ou hémicelluloses, et plus particulièrement, les pentosanes) est plus importante pour les légumineuses que pour les graminées (BAILEY et ULYATT, 1970 ; RIQUET, 1979). Une partie de la contamination azotée est sous forme de complexes tanins-protéines (THEANDER *et al.*, 1977 ; VAN SOEST *et al.*, 1987) ou de complexes de MAILLARD qui peuvent constituer un témoin de l'échauffement des fourrages (VAN SOEST, 1965) ou peuvent provenir d'un séchage excessif de l'échantillon au moment de sa préparation. Dans certains cas, pulpes de betteraves et drèches de maïs, la cellulose peut être en partie dissoute par le détergent acide (RIQUET, 1979).

L'ADF obtenu après une extraction au détergent neutre (tableau 5) donne des valeurs moins élevées que l'ADF direct parce que les substances contaminantes, comme les matières azotées (GOERING *et al.*, 1972) et les substances pectiques (GIGER, 1987) sont solubilisées par le détergent neutre. La solubilisation de la lignine est faible quand l'extraction dans le détergent neutre n'inclut pas de sulfite de sodium.

La teneur en ADF des échantillons est plus élevée que celle en cellulose brute, parce que le détergent acide respecte mieux la lignine que l'attaque alcaline de la méthode de WEENDE (tableau 6 et figure 3). Les teneurs en ADF et CB des échantillons sont hautement corrélées, pour une famille végétale donnée (JARRIGE, 1981). De plus, l'ADF est une méthode plus rapide et plus facile à mettre en œuvre que la cellulose brute (KIM *et al.*, 1967), ce qui explique qu'elle ait été adoptée comme méthode officielle aux USA (AOAC, 1975).

TABLEAU 3

Composition de la cellulose brute de concentré ou de fourrages

		Pentosanes	Cellulose	Lignine
CONCENTRES	tégument arachide (a)	16,3	44,9	36,6
	tégument tournesol (a)	19,5	59,3	24,5
	pois (a)	6,2	75,8	2,9
	lupin (a)	7,6	79,7	3,6
	avoine (a)	8,4	74,7	10,8
	son de blé (a)	6,6	61,3	10,3
	tourteau palmiste (a)	4,0	55,9	8,9
	tourteau colza (a)	3,2	36,1	34,3
FOURRAGES	paille de seigle (a)	14,8	75,1	7,7
	foin de graminée (a)	14,4	75,6	5,9
	ensilage (b)	13,9	83,6	2,5

(a) NEHRING (1969)
(b) KIM, GUILLINGHAM et LOADHOLT (1967)

TABLEAU 4

Composition de l'ADF de fourrages ou de concentrés.

	Fourrages (a)			Concentrés (b)				
	Graminées	Luzerne	Pailles	T. de colza	T. de coprah	T. de tournesol	Tégument soja	Graines soja
Cellulose	55-65	45-50	62-65	37	13,4	12,8	74,2	46,8
Hémicelluloses	10-20	15-20	8-10	6	51,3	3,4	11	7
Lignine	10-12	18-22	13-15	37,3	18,2	32,6	1,2	38,8
Matières azotées	2-4	3-6	1	11,5	4,3	12,7	7,8	1,2
Cendres (indeterminé)	3-6	3-4	2	(7,8)	(12,8)	(38,6)	(5,8)	(6,2)

(a) JARRIGE (1981)
(b) RINAUDO et CHANBAT (1976)

TABLEAU 5

Comparaison des valeurs de la lignocellulose ADF et de la lignine directe ou après une extraction au détergent neutre

	Aliments	directe		après extraction au détergent neutre	
		ADF	lignine	ADF	lignine
CONCENTRES (a)	Drèches de brasserie	24,3	6,1	17,2	2,0
	Pulpes de betteraves	24,9	1,5	23,9	1,2
	Pulpes d'agrumes	19,9	1,4	20,3	1,2
	Pellicules de soja	51,4	1,3	48,0	1,2
	Aliment complet (1)	43,3	6,8	41,9	5,2
	Aliment complet (2)	39,9	5,6	37,2	4,4
(b)	Maïs	3,5	0,7	3,4	0,7
	Orge	8,5	1,3	8,0	1,1
	Son	13,4	3,5	12,9	3,6
	Pulpe	23,5	2,1	22,4	2,8
	Tourteau Arachide	14,2	4,6	13,9	4,4
FOURRAGES (a)	Paille d'orge	42,6	7,3	42,5	3,8
	Rafle de maïs	40,8	5,3	39,3	3,7
	Foin de luzerne	28,2	6,3	24,2	5,7
	Foin de dactyle	35,2	4,3	35,8	1,8
	Foin de ray-grass	30,4	4,0	29,7	2,0
(b)	Ensilage de maïs	41,7	4,7	38,8	3,5
	Paille de blé	45,7	8,0	45,0	7,8

(a) tiré de THIVEND (1981)

(b) GIGER (1987 et non publié)

(1) 75 % de paille
(2) 75 % de paille traitée à la soude } + 15 % de pulpe de betterave + 9 % de tourteau d'arachide.

V. Estimation d'un résidu ligneux

De la revue publiée récemment sur les différentes méthodes d'estimation de la lignine (GIGER, 1985), nous ne retiendrons que celles qui sont les plus représentatives et utilisées actuellement.

1. Méthodes gravimétriques

a) Isolement d'un résidu ligneux par l'acide sulfurique concentré

La propriété de l'insolubilité de la lignine dans l'acide sulfurique concentré est à la base de nombreuses méthodes, dont la plus ancienne est celle de KLASON. Cependant, d'autres composés, et notamment des glucides non cellulosiques (hémicelluloses et amidon) et de l'azote, lorsqu'ils sont présents en quantités importantes dans l'échantillon, peuvent également former des complexes insolubles avec l'acide concentré, ce qui conduirait à des teneurs anormalement élevées en «lignine». De ce fait, il est nécessaire de procéder à une ou plusieurs étapes préliminaires de prétraitement, qui ont pour objet d'éliminer les constituants hémicellulosiques et du contenu cellulaire, avant de déterminer la lignine par action de l'acide sulfurique concentré.

Ainsi, dans la méthode proposée par VAN SOEST (1963), on fait agir l'acide sulfurique concentré sur le résidu ADF (obtenu directement ou après extraction au détergent neutre). Le résidu lignine, ainsi isolé, ne contiendrait en fait pas toute la lignine : une partie pourrait être fragilisée ou même solubilisée au cours des différents traitements (RIQUET, 1979). Ainsi, la teneur en lignine des fourrages de graminées serait sous-estimée (JARRIGE, 1981). Le résidu peut également être contaminé par des tanins, notamment dans le cas de certaines légumineuses (lotier, sainfoin) (BARRY et MANLEY, 1986). Cette contamination est plus importante quand la lignine est obtenue à partir d'un résidu ADF et sans extraction préalable au détergent neutre.

La méthode de CHRISTIAN (1971) diffère de celle de VAN SOEST par l'ordre de succession des hydrolyses ; l'acide sulfurique concentré agit directement sur l'échantillon et le résidu obtenu est ensuite «nettoyé» par l'action du détergent. Ce schéma est empirique, mais il conduit à une teneur en lignine

TABLEAU 6

Comparaison des valeurs de lignocellulose obtenues par différentes méthodes

CONCENTRES

		Cellulose Brute	ADF (après NDF)	I.F.	Cellulose dosée + lignine (1)
CONCENTRES	Tourteau colza (a)	15,1	21,8		
	Tourteau coprah (a)	11,4	24,7		
	Tourteau tournesol (a)	13,7	19,6		
	Teguments de soja (a)	40,7	54,2		
	Graines de soja (a)	3,7	46,8		
FOURRAGES	Aliment (2) paille traitée (b)	31,4	39,0 (37,2)	32,7	34,4
	Aliment (2) paille normale (b)	35,1	43,3 (41,9)	36,8	37,5

ADF = Acid Detergent Fiber I.F. = Insoluble Formique

(1) Méthode de JARRIGE (1961)

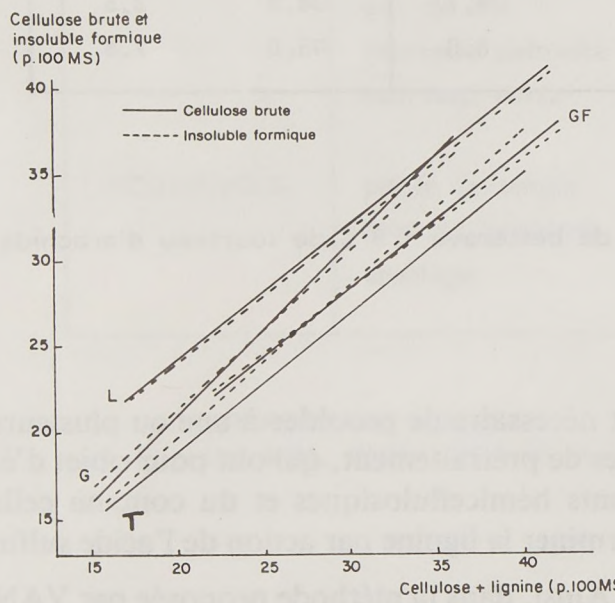
(2) 75 % paille traitée ou non à la soude + 15 % pulpe betterave + 9 % tourteau arachide

(a) RINAUDO et CHAMBAT (1976)

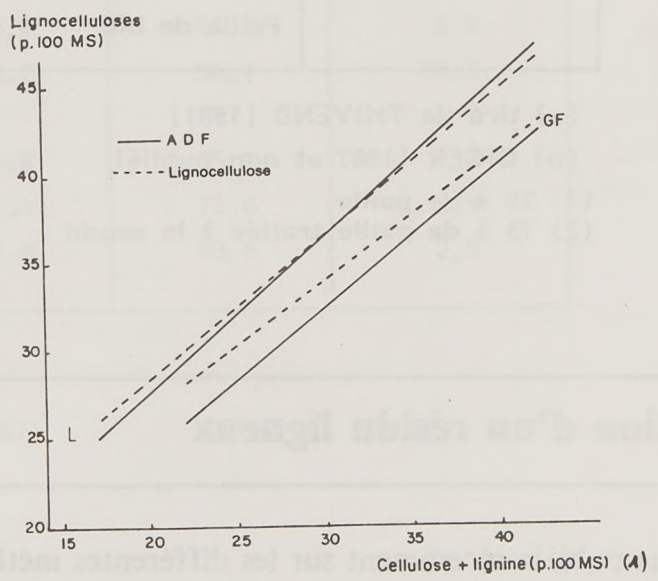
(b) POCHET, *non publié*.

FOURRAGES

(a)



(b)



G : 62 ray-grass et dactyle ; GF : 34 graminées + 15 foins ; L = 35 luzernes ;
C : 11 trèfles violets + 7 trèfles blancs.

Tiré de JARRIGE (1981)

FIG. 3

plus importante et ce, d'autant plus que l'échantillon est riche en lignine (GIGER, 1985), bien que la teneur en azote du résidu soit plus faible. Cette constatation peut s'expliquer, d'une part par la formation de composés de MAILLARD dans la première étape et, d'autre part, par la reprécipitation d'une fraction lignine acido-soluble en raison de la dilution du milieu après l'hydrolyse par l'acide concentré. Les résultats obtenus par les deux méthodes sont mieux corrélés pour les aliments concentrés que pour les fourrages, même après correction des résidus par les teneurs en azote résiduel (tableau 8). D'un point de vue technique, elle a été adaptée pour être semi-automatisée sur un appareil de type Fibertec (commercialisé par Tecator Ltd) (POCHET et THI-

TABLEAU 7

Comparaison des résultats obtenus par les méthodes de fractionnement de référence et par les méthodes de VAN SOEST. (Tous les résultats sont exprimés en p. 100 de la matière sèche)

	Hémicelluloses		Cellulose		Lignine	
	Méthode de référence	NDF moins ADF	Méthode de référence	ADF moins ADL	Méthode de référence	Van Soest (après ADF)
Drèches de brasserie (a)	24,6	22,6	15,1	18,2	9,9	6,1
Pulpes de betteraves (a)	23,7	22,7	20,3	23,4	3,6	1,5
Escourgeon (a)	13,6	25,7	8,6	6,4	1,6	1,0
Betterave fourragère (a)	4,6	4,9	2,6	7,3	1,0	0,6
Tourteau de tournesol (a)	12,4	8,8	14,1	21,8	10,4	9,9
Tourteau d'arachide (a)	-	-	6,3	9,5	-	-
Graine de colza (a)	8,7	3,3	8,7	14,6	12,4	8,9
Tégument de colza (a)	13,6	2,2	13,0	31,3	25,5	32,3
Aliment complet (1) (b)	20,4	28,9	27,5	36,4	10,0	6,8
Aliment complet (2) (b)	18,6	21,2	26,6	33,3	7,8	5,6
Paille d'orge (c, d, e)	23-27	27	28-33	44,0	20-24	7
Paille d'avoine (c, d, e)	22	16	30	41,0	23	11
Paille de blé (c, d, e)	21	36	27	39,0	19	10

Tiré de (a) THIVEND (1981) ; (b) POCHET (*non publié*) ; (c) JACKSON (1977) ; (d) THEANDER et AMAN (1978) ; (e) THEANDER et AMAN (1974).

(1) 75 % paille
(2) 75 % paille traitée à la soude } + 15 % pulpe de betterave + 9 % tourteau d'arachide.

TABLEAU 8

Relation entre les teneurs en lignine obtenues par la méthode de CHRISTIAN (CHR) et par d'autres méthodes.

AUTEURS	Nature des échantillons	n		r	Erreur résiduelle
CHRISTIAN (1971)	Fourrages tempérés	13	CHR (1) = - 3,61 + 2,09 (VAN SOEST, 1963)(1)(2)	0,894	-
		13	CHR (1) = - 1,56 + 1,17 (ARMITAGE, 1948) (1)(2)	0,986	-
R.R.I. (1981)	Aliments composés	24	CHR = - 0,043 + 1,16 (VAN SOEST, 1963)	0,980	-
GIGER (1985)	Fourrages et concentrés	11	CHR = - 0,585 + 1,45 (VAN SOEST, 1963)	0,88	1,39
Mc LEOD & MINSON (1974)	Fourrages tropicaux	30	CHR = (VAN SOEST & WINE, 1968)	0,88	-
			(EDWARDS, 1973)	0,90	-
			(ARMITAGE et al., 1948)	0,97	-
			(VAN SOEST, 1963)	0,83	-
			(VAN SOEST, 1963 mod.)(3)	0,93	-
I.N.R.A. (non publié)	Aliments composés	82	CHR = 1,270 (VAN SOEST, 1963)	0,98	

(1) Teneur en lignine corrigée par sa teneur en N x 6,25
(2) avec de la celite
(3) ADF (18 h) + H_2SO_4 72 %

VEND, non publié). Elle ne pose aucun problème technique et la répétabilité observée est bonne, ce qui contribue à la précision des résultats obtenus (tableau 9).

La lignine peut également être obtenue à la fin du schéma d'extraction des méthodes de référence (JARRIGE, 1961 ; SALO, 1965 ; SOUTHGATE, 1969). L'hydrolyse à l'acide concentré est alors suivie par une hydrolyse à l'acide dilué. Le résidu obtenu présente une teneur plus élevée que celui issu de la méthode de VAN SOEST (tableau 7). En effet, celui-ci est, d'une part, plus contaminé par des matières azotées (11 à 42 %) dans le cas de fourrages, et d'autre part, parce que la dilution de l'acide entraîne une reprécipitation de la fraction lignine solu-

ble dans l'acide concentré. L'action d'un alcool à chaud, au moment des traitements préliminaires (SALO, 1965) peut entraîner la solubilisation d'une partie de la lignine (JARRIGE, 1961).

b) Extraction de la lignine par le permanganate de potassium et d'autres agents oxydants (Méthode de VAN SOEST et WINE, 1968)

La lignine peut également être estimée par la quantité de matière sèche extraite à partir de l'ADF après oxydation par le permanganate de potassium. Les valeurs obtenues sont généralement plus élevées que la lignine obtenue sur le même ADF après action de l'acide sulfurique concentré (VAN SOEST et WINE, 1968 ; DEINUM, 1971). Cette méthode peut conduire à une surestimation de la teneur en lignine, notamment dans le cas des aliments riches en tanins qui sont solubilisés par le permanganate. Elle se caractérise par une faible reproductibilité due au manque de stabilité du réactif. D'autres méthodes d'estimation de la lignine utilisent les propriétés solubilisantes de différents réactifs agissant sur un résidu lignocellulosique : solution de sulfite de soude à chaud (NORMAN et JENKINS, 1933), triéthylène glycol activé par de l'acide chlorhydrique (EDWARDS, 1973) ou chlorite de sodium (COLLINGS *et al.*, 1978).

2. Estimation de la lignine par absorption moléculaire (Méthode de MORRISON, 1972)

La lignine solubilisée dans le bromure d'acétyle absorbe les rayons ultra-violet (280 nm). Cette méthode, apparemment simple, nécessite toutefois d'éliminer les protéines et les substances phénoliques qui peuvent interférer à cette longueur d'onde (MORRISON, 1972), et de trouver une lignine de référence représentative de celle des échantillons à doser.

VI. Estimation des polyosides pariétaux

1. Méthodes de référence

Les polyosides sont extraits à partir des parois isolées suivant deux types de méthode (cf. § 1). Dans le premier cas, une seule hydrolyse à l'acide sulfurique concentré est utilisée : les oses libérés sont séparés par chromatographie, le glucose étan alors considéré comme ne provenant que de la cellulose et le autres oses, des hémicelluloses. Dans le second cas, deux hydrol ses successives servent à la détermination : la première, à l'acid dilué (sulfurique à 5 % dans la méthode de JARRIGE (1961) chlorhydrique 0,7 N dans celle de SALO (1965), perme d'hydrolyser les hémicelluloses et la seconde a pour obje d'hydrolyser la cellulose par l'action de l'acide sulfurique con centré à froid qui est suivie d'une dilution à chaud. La teneu en glucides des hydrolysats est déterminée par des méthodes colo métriques : dosage du pouvoir réducteur (JARRIGE, 196 (figure 2 F), dosage des pentoses des hémicelluloses (CERNIN et GUILBOT, 1973 ; BELL, 1985), dosage des sucres totaux du glucose, etc...

Lorsque les substances pectiques sont présentes en quan tité importante, il peut être intéressant de procéder à leur dosag spécifique. Elles sont extraites spécifiquement par l'oxalate d'am monium 0,1 M et estimées, soit par pesée après précipitatio à l'éthanol, soit par dosage colorimétrique spécifique des ac des uroniques avec le métahydroxydiphényl ou MHDP (BLU MENKRANTZ et ASBOE-HANSEN, 1973).

2. Méthodes approximatives

Les hemicelluloses et la cellulose peuvent être calculées partir des résidus dans la méthode de VAN SOEST : les hém celluloses correspondent à la différence entre le NDF et l'AD et la cellulose, à celle entre l'ADF et la lignine (figure 2 E). Le hémicelluloses et la cellulose, ainsi estimées, sont généralemen surestimées par rapport aux résultats obtenus par les méthode de référence qui font intervenir des dosages spécifiques des glu cides (RIQUET, 1979 ; POCHET, 1981) (tableau 5). Ainsi, sou le terme d'hémicelluloses, on ne retrouve pas l'intégralité de hémicelluloses. De plus, une partie des matières azotées no extraite par le détergent neutre, l'est par le détergent acide, d même qu'une partie de la lignine. Sous le terme de cellulos on trouve notamment, lorsque l'ADF n'est pas précédé par un hydrolyse à la solution au détergent neutre, des hémicellulos (pentosanes en particulier), des substances pectiques, des matièr minérales et de la lignine.

La cellulose peut également être estimée par le résidu obten après action d'un mélange d'acide acétique, nitrique et trichlo

TABLEAU 9

Précision des mesures de lignine en fonction de la méthode de détermination (POCHET, compilation bibliographique).

Méthode / AUTEURS	CHRISTIAN (1971)	VAN SOEST (1963)	VAN SOEST & WINE (1968)	EDWARDS (1973)	Echantillon
CHRISTIAN (1971)	0,02 (a)				Fourrages tempérés
Mc LEOD & MINSON (1974)	0,08 (a)		0,18 (a)	0,35 (a)	Fourrages tropicaux
R.R.I. (1978)					Fourrages
R.R.I. (1981)	0,05 à 0,50 (b) (cv : 2,2 à 11,4 %)	0,15 à 0,90 (b) (cv : 3,4 à 22,0 %)			Aliments composés

(a) Ecart entre deux déterminations

(b) Reproductibilité sur 5 laboratoires (amplitude de la variation suivant l'aliment composé)

cv : Coefficient de variation.

racétique (SCHARRER et KUERSCHNER, 1931). Ce résidu ne contient cependant pas toute la cellulose (environ 30 % sont perdus), mais est contaminé par de la lignine (6 %). Cette méthode, qui est officiellement reconnue pour l'analyse des produits céréaliers, a été revue et adaptée à l'analyse des aliments concentrés par NEHRING (1969) (figure 2 C).

VII. Estimation des constituants pariétaux par mesure dans l'infra-rouge

Cette méthode repose sur l'étude du spectre obtenu par réflectance, c'est-à-dire par les radiations renvoyées par l'échantillon à analyser, lorsqu'il est soumis aux rayons infra-rouge de différentes longueurs d'onde (1400 à 2400 A). Le spectre obtenu est fonction de la composition chimique et de la distribution de la taille des particules de l'échantillon. L'appareil doit être étalonné à partir d'échantillons dont les teneurs sont connues par analyse chimique (par exemple, NDF, ADF et ADL) ou la valeur nutritive (par exemple, la digestibilité). Les relations, ainsi obtenues, sont traitées par l'ordinateur couplé au spectromètre et doivent être établies à partir d'un grand nombre d'échantillons de même type. Elles ne sont utilisables que pour l'analyse d'échantillons de nature connue et équivalente à celle utilisée pour l'échantillonnage. Une fois que la gamme est faite, la méthode offre l'avantage d'être rapide et de ne pas détruire l'échantillon. Elle est utilisable comme moyen d'estimation rapide de la teneur en eau, en matières grasses et protéines des graines (WILLIAMS, 1975) ainsi que pour l'estimation de la valeur nutritive des fourrages (BISTON et DARDENNE, 1985 ; SHENK, 1986 : BROWN et MOORE, 1987). La précision des mesures est excellente pour la plupart des critères (humidité, protéines, lipides), mais moins bonne pour les constituants pariétaux et la valeur nutritive (digestibilité in vitro de la matière organique) (PARK *et al.*, 1983 ; BROWN et MOORE, 1987.

Conclusions

Aucune des méthodes décrites ne permet de déterminer de manière à la fois universelle, spécifique et rapide un système aussi complexe que celui des parois cellulaires végétales.

Les méthodes de référence sont peu utilisées en alimentation animale car elles sont difficiles à mettre en œuvre, malgré les efforts faits pour les automatiser (POCHET et THIVEND, à paraître). De plus, les informations ainsi obtenues ne permettent pas de prévoir de manière plus précise la digestibilité des aliments destinés aux ruminants, que des méthodes qui sont biochimiquement moins précises comme celles de VAN SOEST. Elles ont été utilisées pour connaître la composition et certains facteurs de variation de la composition pariétale des fourrages (JARRIGE, 1963) et des concentrés (THIVEND, 1981) ou pour analysesr la signification biochimique des critères obtenus par les méthodes de routine.

Le choix des critères pariétaux qui ont été retenus pour prévoir la valeur nutritive des aliments est précisé par SAUVANT *et al.*, (1987). Il est nécessaire de souligner ici que ce choix doit se faire non seulement en fonction des résultats zootechniques, mais également de la faisabilité, de la précision analytique et

de l'universalité des méthodes de dosage. Ceci est notamment à prendre en considération dans le cas des méthodes de détermination de la lignine appliquées aux aliments en contenant peu.

Références bibliographiques

AERTS J.V., DE BRABANDER D.L., COTTYN B.G., BUYSSE F.X., CARLIER L.A., MOEMANS R.J. 1978. Some remarks on the analytical procedure by VAN SOEST for the prediction of forage digestibility. Anim. Feed Sci. Technol., **3**, 309-322.

AGOSIN E. 1985. Amélioration de la digestibilité de sous-produits lignocellulosiques par délignification microbienne. Thèse de docteur-ingénieur, INA- PG, (France).

AOAC 1975. Official Methods of Analysis - Washington, D.C.

ASP N.G., JOHANSSON C.G., HALLMER H., SILJESTROM M. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. J. Agric. Food Chem., **31**, 476-482.

BAILEY R.W. 1973. Structural carbohydrates. In «Chemistry and biochemistry of herbage» Ed. Butler G.W. et Bailey R.W./Academic Press Inc. London and New York. Vol.1, p. 207-211.

BAILEY R.W., ULYATT M.J. 1970. Pasture quality and ruminant nutrition II-Carbohydrate and lignin composition of détergent extracted residues from pasture grasses and legumes. N.Z. J. Agric. Res., **13**, 591-604.

BARRY T.N., MANLEY T.R. 1986. Interrelationships beetween the concentration of total condensed tanins, free condensed tannin and lignin in lotus sp., and their possible consequences in ruminant nutrition. J. Sci. Food Agric., **37**, 248-254.

BELL B.M. 1985. A rapid method of dietary fiber estimation in wheat products. J. Sci. Foot Agric., **36**, 815-821.

BISTON R., DARDENNE P. 1985. Application de la spectrometric de reflexion dans le proche infra-rouge. Prévision de la qualité des fourrages en vue de leur exploitation rationnelle. Bull. Rech. Agron. Gembloux, **20**, 23-41.

BLUMENKRANTZ N., ASBOE-HANSEN G. 1973. New method for quantitative determination of uronic acids. Anal. Biochem., **54**, 484-489.

BRILLOUET J.M., CARRE B. 1983. Composition of cell-walls from cotyledons of Pisum Sativum, Viscia Faba and Glycine Max. Phytochemistry, **22**, 841-847.

BROWN W.F., MOORE J.E. 1987. Analysis of forge research samples utilizing a combination of wet chemistry and near infrared reflectance spectroscopie. J. Anim. Sci., **64**, 271-282.

CARRE B., BRILLOUET J.M. 1986. Yield and composition of cell wall residues isolated from various feedstuffs used for non-ruminant farm animals. J. Sci. Food Agric., **37**, 341-351.

CERNING J., GUILBOT A. 1973. A specific method for the determination of pentosans in cereals and cereals products Cereal Chem., **50**, 176-184.

CHRISTIAN K.R. 1971. Detergent method for total lignin in herbage. Fld Stn Rec. Div. Pl. Ind. CSIRO (Austr.), **10**, 29-34.

COLBURN M.W., EVANS J.L. 1967. Chemical composition of the cell-wall constituent and acid detergent fiber fraction of forages. J. Dairy Sci., **50**, 1130-1133.

COLLINGS G.F., YOKOHAMA M.T., BERGEN W.G. 1978. Lignin as determined by oxydation with sodium chlorite and a comparison with permanganate lignin. J. Dairy Sci., **61**, 1156-1180.

DEINUM B. 1971. Prediction of forage digestibility from some laboratory procedures. 2) Comparison of in vivo digestibilité at two Institutes. Neth. J. Agric. Sci., **19**, 106-113.

DELORT-LAVAL J., BERTRAND D., VALDEBOUZE P. 1980. Test de reproductibilité des résultats du dosage de la cellulose WEENDE et des constituants membranaires selon VAN SOEST BIPEA janvier 1980, **108**, 1-13.

EDWARDS C.S. 1973. Determination of lignin and cellulose in forage by extraction with triethyleneglycol. J. Sci. Fd Agric., **24**, 381-388.

ENGLYST H.N., CUMMINGS J.H. 1986. Digestion of the carbohydrates of banana by the human small intestine. Am. J. Clin. Nutr., **44**, 42-50.

ENGLYST H., WIGGINS H.S., CUMMINGS J.H., 1982. Determination of the non starch polysaccharides in plant foods by gas liquid

chromatography of constituents sugars as alditol acetate. Analyst, **107**, 107-318.

GIGER S. 1979. Some aspects of the assessment of plant cell-wall constituants by the Van Soest method. In Focus, **5**, 6-7.

GIGER S. 1980. Evaluation des constituants pariétaux à partir des techniques proposées par VAN SOEST. Document interne. 5 p.

GIGER S. 1985. Revue sur les méthodes de dosage de la lignine utilisées en alimentation animale. Ann. Zootech., **34**, 85-122.

GIGER S. 1987. Influence de la composition de l'aliment concentré sur la valeur alimentaire des rations destinées au ruminant laitier. Thèse de Docteur-Ingénieur présentée le 2 octobre 1987 à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon. 403 p.

GIGER S., THIVEND P., SAUVANT D., DORLEANS M., JOURNAIX P. 1987. Etude de l'influence préalable de différentes enzymes amylotitiques sur la teneur en résidu NDF d'aliment du bétail. Ann. Zootech., **36**, 39-48.

GOERING H.K., GORDON C.H., HEMKEN R.W., WALDO D.R., VAN SOEST P.J., SMITH L.W. 1972. Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. J. Dairy Sci., **55**, 1275.

GUILLEMET R., PRECEPTIS P. 1942. Le dosage de la cellulose par dissolution formique de l'amidon et des protéides. C.R. Academ. Sci. France, **28**, 383-386.

HALE W.H. 1973. Influence of processing on the utilisation of grains (starch) by ruminants. J. Anim. Sci., **37**, 1075.

HARTLEY R.D., JONES E.C. 1977. Phenolic components and degradability of cell walls of grass legume species. Phytochemistry, **16**, 1551-1554.

JACKSON M.G., 1977. Review article : the alkali treatments of straw. Anim. Feed. Sci. and Technol., **2**, 105-130.

JARRIGE R. 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères : I - Fractionnement des constituants de la membrane par des hydrolyses acides. Ann. Biol. anim. Bioch. Bioph., **1**, 163-212.

JARRIGE R. 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères : II - La lignocellulose : composition, dosage et comparaison avec la cellulose brute. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., **1**, 421-447.

JARRIGE R. 1963. Les constituants membranaires des plantes fourragères. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., **3**, 143-190.

JARRIGE R. 1981. Les constituants glucidiques des fourrages : variations, digestibilité et dosage. Dans «Prevision de la valeur nutritive des aliments des Ruminants» INRA Publ. 13-40.

KIM J.T., GILLINGHAM J.T., LOADHOLT C.B. 1967. Difference in composition between crude fiber and acid detergent fiber. J. Assoc. Off. Anal. Chem., **50**, 340-343.

MAHONEY A.W., GROSH R.S., COLLINGE S.K. 1981. Neutral detergent fiber changes due to heat damage from Soxhlet extraction and drying. J. Food Biochem., **5**, 263-270.

MASCARENHAS FERREIRA A., KERSTENS J., GAST C.H. 1983. The study of several modifications of the neutral detergent fiber procedure. Anim. Feed Sci. Technol., **9** 19-28.

MC QUEEN R.E., NICHOLSON J.W.G. 1979. Modification of the Neutral-Detergent-Fiber procedures for cereals and vegetables by using alpha-amylase. J. Ass. Off. Anal. Chem., **62**, 676-680.

MONTIES B. 1980. Les polymères végétaux : polymères pariétaux et alimentaires non azotés. Ed. Monties B. Gauthier-Villars - Biochimie appliquée.

MORRISSON I.M. 1972. A semi-micro method for the determination of lignin and its use in predicting the digestibility of forage crops. J. Sci. Fd Agric., **23**, 455-463.

NEHRING K., 1969. Die Bestimmung der Rohzellulose in Futterstoffen. I Problematik. Arch. Tierernaehr., **19**, 453-473.

NEHRING K., HOFFMAN B., 1969. Untersuchungen zur Weiterentwicklung der Futtermittelanalyse. I. Problematik der Futtermitteluntersuchung. Arch. Tierernaehr., **19**, 561-570.

PARK Y.W., ANDERSON M.J., ASAY K.H., MAHONEY A.W. 1983. Predicting soluble nitrogen and fibrous fraction in crested wheatgrass with near-infrared reflectance spectroscopy. J. Range Manage, **36**, 529-533.

POCHET S. 1981. Etude comparée de différentes méthodes d'estimation de la cellulose et des hémicelluloses dans les aliments et les contenus digestifs. Mémoire de DEA Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand).

PROSKY L., ASP N.G., FURDA I., DEVRIES J.W., SCHWEIZE T.T., HARLAND B.F... 1984. Determination of total dietary fiber foods, food products, and total diets : interlaboratory study. J. Ass Off. Anal. Chem., **67**, 1044-1052.

RINAUDO M., CHAMBAT G. 1976. Teneur en cellulose de différen tourteaux d'oléagineux. Signification des résultats obtenus. Rev. Fran Corps Gras, **23**, 605-608.

RIQUET A.M. 1979. Etude des constituants membranaires de dive produits végétaux destinés à l'alimentation animale, signification et lim tes des principales méthodes de dosage. Thèse de Docteur de Troisièm cycle - Université Paris XI - ENSIA.

ROBERTSON J.B., VAN SOEST P.J. 1981. The detergent system analysis and its application to human foods in «The analysis of dietar fiber in food» Ed. James W.T.P. et Theander O. Dekker inc. N.Y

ROBERTSON J.B., VAN SOEST P.J. 1977. Dietary fiber estimatio in concentrate feedstuffs. J. Anim. Sci. 45 Suppl., **1**, 254.

SALO M.L. 1965. Determination of carbohydrate fractions in anim foods and faeces. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Julka 105 Ac Agralia Fennica. Citée par Riquet (1979).

SAUVANT D., AUFRERE J., MICHALET-DOREAU B., CIGER CHAPOUTOT P., 1987. Valeur nutritive des aliments concentrés : tabl et prévision. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

SCHALLER D.R. 1976. Analysis of cereal products and ingredien in «61st Annu. Meet. amer. Assoc. Cereal Chem.» 6/10/76 - Ne Orleans (USA) 1 - 19.

SCHARRER K., KUERSCHNER K. 1931. Ein neues, rasch durchfueh bares Verfahren zur Bestimmung der Rohfaser Futtermitteln Tierenahr **3**, 302-310. (cité par NEHRING, 1969).

SCHWEIZER T.F., WURSCH P. 1979. Analysis of dietary fiber. Sci. Food Agric., **30**, 613-619.

SHENK J.S. 1986. Near infrared analysis of forage and feed for dai cows. Fed. Int. Lait. Bull., **196**, 36-41.

SOUTHGATE D.A.T. 1969. Determination of carbohydrates in foods unavalaible carbohydrates J. Sci. Fd Agric., **20**, 331-335.

TERRY R.A., OUTEN G.E. 1973. The determination of cell-wall con tituents in barley and maize. Chem. Ind., **23**, 1116-1117.

THEANDER O., AMAN P. 1978. Chemical composition of some sw dish cereal straws Swedish J. Agric. Res., **8**, 189-194.

THEANDER O., AMAN P. 1979. Swed. J. Agric. Res., **9**, 97-10

THEANDER O., AMAN P. 1980. Chemical composition of some for ges and various residus from feeding value determinations. J. Sci. Fo and Agric., **31**, 31-37.

THEANDER O., AMAN P., MIKSCHE G.E., YASUDA S. 1977. C bohydrates, polyphnols and lignin in seed hulls of different colors fro turnip rapeseed J. Agric. Food Chem., **25**, 270-273.

THIVEND P. 1981. Les constituants glucidiques des aliments conce trés et des sous-produits in «Prévision de la valeur nutritive des alimen des Ruminants» INRA Publ. 219-235.

VAN SOEST P.J. 1963. Use of détergent in the analysis of fibrous fe II - A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. As Off. Anal. Chem., **46**, 829-835.

VAN SOEST P.J. 1965. Use of detergents in the analysis of fibro feeds : III - Study of the effects of heating and drying on yield of fib and lignin in forages. J. Assoc. Off. Agric. Chem., **48**, 785-790.

VAN SOEST P.J., ROBERTSON J.B. 1979. Systems of analysis f evaluating fibrous feeds. In «Workshop on standardization of analy cal techniques» Ottawa - Canada.

VAN SOEST P.J., WINE R.H. 1967. Use of détergents in the analy of fibrous feeds. Determination of plant cell-wall constituants. J. A off. Agric. Chem., **50**, 50-55.

VAN SOEST P.J., WINE R.H. 1968. The determination of lignin a cellulose in acid detergent fiber with permanganate. J. Ass. Off. Agr Chem., **51**, 780-785.

VAN SOEST P.J., CONKLIN N.L., HORVATH P.J. 1987. Tann in foods and feeds. Cornell Nutrition Conferences 1987/10/28. 115-1

WALKER D.M., HEPBURN W.R. 1955. Normal-Acid-Fibre : a p posed analysis for the evaluation of roughages. I. - The analysis of ro hages by the normal-acid fibre method, and its use for predicting digestibility of routhages by sheep. Agric. Progress, **30**, 118-119.

WILLIAMS P.C. 1975. Application of near infrared reflectance sp troscopy to analysis of cereal grains and oil seeds Cereal Chem., **52**, S

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 61-73

Valeur nutritive des fourrages : tables et prévision

J. ANDRIEU, C. DEMARQUILLY

INRA-CRZV Theix, Laboratoire des Aliments, 63122 Ceyrat.

Une bonne connaissance de la composition chimique et de la valeur nutritive des fourrages, et plus généralement des aliments des ruminants, ainsi que de la quantité qui peut en être ingérée par les animaux, est indispensable. Elle permet d'établir des plans de rationnement adaptés aux besoins, à la capacité d'ingestion et aux goûts des animaux et cela, si possible, au moindre coût. Dans le cas des fourrages, elle aide aussi au choix des plantes à cultiver, indique le stade optimum de croissance auquel il faut les exploiter et par quelle méthode il convient, si possible, de les conserver pour en tirer les quantités maximum d'éléments nutritifs ou de produits animaux à l'hectare.

A la demande des utilisateurs, les Tables de 1988 sont beaucoup plus complètes que celles proposées en 1978, notamment en ce qui concerne les fourrages. Pour les fourrages verts, pratiquement tous les stades ou âges possibles d'exploitation sont donnés : du stade feuillu à la floraison pour les premiers cycles, de 4-5 à 8-9 semaines d'âge pour les repousses. Pour les fourrages conservés, les stades ou âges sont ceux auxquels on récolte habituellement les foins ou les ensilages.

Mais il nous faut rappeler l'origine des données qui ont servi à l'élaboration des Tables et préciser les modes de calcul des valeurs énergétiques, azotées et d'encombrement, qui ont été modifiées dans cette nouvelle version des Tables.

I. Composition chimique et digestibilité

Les données sur les fourrages résultent des mesures de digestibilité effectuées sur des moutons, à l'exception de la digestibilité de l'herbe de la prairie naturelle des Alpes qui a été déterminée par la technique de digestibilité à la pepsine-cellulase (AUFRERE, 1982) dans le cadre des études du GIS Alpes du Nord. Elles ont porté au total sur 2400 échantillons de fourrages verts (herbe de prairie naturelle, principales espèces de graminées et de légumineuses, plantes entières de céréales, choux, tournesol, colza, ...), 600 échantillons de foins, 230 échantillons de fourrages déshydratés, 280 échantillons d'ensilages de graminées et légumineuses, 120 échantillons d'ensilage de maïs et 100 échantillons de pailles de céréales.

L'essentiel des mesures a été effectué par le Laboratoire des Aliments de l'INRA de Clermont-Ferrand-Theix. Cependant, pour certains fourrages, des données, obtenues avec la même méthodologie par d'autres laboratoires, ont été aussi utilisées. Il s'agit de celles obtenues à l'ENSAIA de Nancy (VIGNON *et al.*, 1972 ; BLANCHARD et VIGNON, 1972) sur le colza et le seigle, à l'ENSSAA de Dijon (TISSERAND et ROUX, 1976 ; DUMONT *et al.*, 1978) sur la féverole et les crucifères, à l'INRA de Lusignan (HUGUET *et al.*, résultats non publiés) sur le sorgho et les crucifères, à l'INRA de Rennes (GIOVANNI, 1980 et résultats non publiés) sur le trèfle blanc et les crucifères, à l'ENSA de Toulouse (MONCOULON, résultats non publiés) sur le soja et à l'INIA de Saragosse (ALIBES et ALBERTI, 1977) sur la vesce.

La méthodologie employée a été présentée en détail dans les «Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages» (DEMARQUILLY et WEISS, 1970). Nous rappelons donc seulement que les mesures de digestibilité ont été effectuées sur des lots de 6 moutons alimentés à volonté (environ 10 % de refus), la période de mesure étant de 6 jours, précédée d'une période préexpérimentale de 8 ou 15 jours sauf en cas de mesure en continu pour étudier l'évolution avec l'âge ou le stade de la digestibilité d'un fourrage vert au cours d'un cycle de végétation donné. En ce qui concerne les sous-produits riches et les aliments concentrés, la digestibilité a, en revanche, été mesurée sur des moutons alimentés, en quantité limitée à 40 g de matière sèche/kg $P^{0,75}$ pour minimiser les interactions digestives fourrages/concentrés, avec une ration constituée pour 60 % du sous-produit ou du concentré étudié et pour 40 % d'un foin de digestibilité connue. La digestibilité du concentré a été calculée par différence.

Pour les fourrages verts, les ensilages de maïs, de céréales immatures, de protéagineux, de tournesol et de crucifères, les pailles et les sous-produits divers, les données de composition chimique et de digestibilité résultent directement des mesures. En plus de la valeur moyenne observée pour chacun de ces critères il est donc indiqué le nombre d'échantillons ayant servi à établir cette moyenne. Cependant, les teneurs en minéraux ont été dosées sur un nombre d'échantillons souvent beaucoup plus restreint. Elles ne sont donc données qu'à titre indicatif, d'au-

TABLEAU 1

Teneurs extrêmes en macro-éléments autre que Ca et P de quelques fourrages (g/kg de MS)

FOURRAGES	Magnésium	Potassium	Sodium	Soufre
Fourrages verts				
Dactyle 1° cycle (épiaison)	1,0 - 3,0	15 - 30	0,1 - 5,0	1,0 - 4,0
Fétuques 1° cycle "	1,0 - 4,0	20 - 40	0,1 - 5,0	1,5 - 4,5
Fléole 1° cycle "	1,0 - 2,0	10 - 30	0,5 - 2,0	
Ray-grass (anglais-italien)	1,0 - 3,5	15 - 35	0,5 - 2,5	2,0 - 4,0
Luzerne 1° cycle (floraison)	1,0 - 4,0	10 - 40	0,5 - 3,0	1,0 - 6,0
Trèfles 1° cycle "	1,5 - 4,5	15 - 40	0,5 - 4,0	1,0 - 3,0
Colza (floraison)	1,5 - 3,5	20 - 40	1,0 - 4,0	6,0 - 12,0
Chou fourrager	1,5 - 3,5	20 - 40	1,0 - 4,0	6,0 - 12,0
Foins				
Graminées	1,0 - 3,0	10 - 30	0,1 - 3,0	1,5 - 3,0
Luzerne	1,0 - 3,5	10 - 30	0,1 - 2,0	1,0 - 4,0
Ensilages				
Maïs	1,0 - 2,5	5 - 15	0,1 - 0,5	0,5 - 3,0
Ray-grass	1,0 - 2,5	10 - 25	0,1 - 1,0	1,5 - 2,5

tant qu'elles peuvent être modifiées par les conditions de milieu (type de sol, importance et nature de la fertilisation, conditions climatiques de l'année...). Les fourrages se caractérisent donc par une grande variabilité de leur composition minérale comme l'indiquent GUEGUEN *et al.* (1988) pour le calcium, le phosphore et les autres macro-éléments minéraux. Les analyses minérales faites sur les fourrages d'une région donnée par les organismes de développement et répétées sur plusieurs années (3 au moins) pour intégrer le facteur climatique donnent donc des teneurs plus fiables et précises que les teneurs moyennes données dans les Tables.

En outre la teneur en lignocellulose (ADF direct de VAN SOEST corrigée pour sa teneur en cendres), qui figure maintenant dans les Tables de 1988, n'a pas été systématiquement déterminée et a donc été estimée à partir de l'équation de régression liant la teneur en lignocellulose (Y en g/kg de MS) à la teneur en cellulose brute (X en g/kg MS), établie à partir de l'analyse de 239 échantillons.

$$Y = 48{,}0 + \Delta + 1{,}0377\ X \pm 16 \qquad r = 0{,}966$$

avec les valeurs de Δ suivantes :

	Fourrages verts	Ensilages d'herbe	Foins
★ Fourrages classiques			
— graminées et prairies permanentes	— 30	— 30	— 30
— luzerne (et sainfoin)	+ 2	+ 2	+ 2
— trèfle violet (et trèfle blanc)	+ 28	+ 28	/
★ Céréales (maïs, blé, orge, avoine, seigle, sorgho)	— 30	— 30	/
★ Protéagineux	+ 2	/	/
★ Tournesol	+ 2	/	/
★ Crucifères (chou et colza)	+ 2	/	/

En revanche, pour les données de base concernant les fourrages déshydratés, les foins et les ensilages de graminées et de légumineuses il nous a semblé plus précis de partir des valeurs moyennes données pour les fourrages verts et de les corriger comme nous allons le voir, pour les modifications de composition chimique, de digestibilité et d'ingestibilité entraînées par les différentes méthodes de conservation et de conditionnement. Pour ces aliments le nombre d'échantillons étudiés n'est donc pas mentionné.

1. Fourrages déshydratés

Les modifications de composition chimique entraînées par la déshydratation sont nulles ou très faibles (DEMARQUILLY 1970) et ont été considérées comme nulles. De même la diminution de digestibilité de la matière organique et de la cellulose brute est négligeable pour les graminées, un peu plus importante pour les légumineuses. Pour le calcul de la valeur énergétique il n'en a pas été tenu compte. En revanche la digestibilité des matières azotées (dMa) a été estimée à partir des liaisons très étroites liant les teneurs en matières azotées digestibles (MAD_0 en g/kg MO) et en matières azotées totales (MAT_0 en g/kg MO).

$$dMA = \frac{MAD_0}{MAT_0}$$

et $MAD_0 = -37{,}0 + 0{,}841\ MAT_0 + \Delta \pm 8{,}2$ r = 0,9

pour n = 230 (cf. INRA, 1981)

avec les valeurs de Δ suivantes :

Dactyle	+ 4,5
Fétuque élevée	+ 3,5
Ray-grass anglais	+ 1,0
Ray-grass italien	— 3,5
Luzerne	+ 4,0
Trèfle violet	— 9,5

Dans le cas du maïs plante entière la relation correspondante est la suivante :

$$MAD_0 = -10{,}5 + 0{,}541\ MAT_0 \pm 6{,}5 \qquad r = 0{,}609$$

Les fourrages déshydratés sont toujours conditionnés (broyés puis agglomérés). Les résultats de VERMOREL *et al.* (1974) montrent que le conditionnement ne modifie pas la valeur énergétique nette des graminées (la meilleure utilisation de l'énergie métabolisable étant annulée par la diminution de digestibilité entraînée par le broyage) alors qu'il augmente de 10 % la valeur énergétique nette des légumineuses. Cette augmentation a donc été retenue pour les luzernes déshydratées.

2. Foins

Les modifications de composition chimique et de digestibilité sont tirées d'une étude portant sur 154 comparaisons entre les fourrages verts et les foins correspondants suivant la nature du fourrage et les conditions et modes de séchage (ANDRIEU *et al.*, 1981) (tableau 2). Elles ne concernent pas les foins ayant chauffé. Si c'est le cas, des modifications supplémentaires sont à apporter (cf. DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1987).

La digestibilité des matières azotées a, en revanche, été estimée à partir des liaisons entre MAD_0 et MAT_0 données par INRA (1981).

★ Foins de graminées et de prairies naturelles

$$MAD_0 = -37{,}9 + 0{,}873\ MAT_0 + \Delta_1 \pm 6{,}3$$
$$r = 0{,}979 \qquad n = 411$$

avec les valeurs de Δ_1 suivantes :

	Prairies naturelles					Graminées	
	Montagne (> 700 m)			Plaine (< 700 m)			
	Cycle 1	Cycle 2 après déprimage	Cycles 2-3-4	Cycle 1	Cycles 2-3-4	Cycle 1	Cycles 2-3-4
Ventilé et sol beau temps	+ 2,0	+ 4,5	+ 3,5	— 1,0	— 5,5	+ 0,5	— 0,5
Sol et ayant reçu au moins une pluie	+ 0,5	+ 3,0	+ 1,0	— 2,5	— 8,0	— 1,0	— 3,0

★ Foins de luzerne

$$MAD_0 = -43{,}9 + 0{,}944\ MAT_0 + \Delta_2 \pm 6{,}8$$
$$r = 0{,}971 \qquad n = 111$$

avec les valeurs de Δ_2 suivantes :

	Cycle 1	Cycle 2	Cycles 3 et 4
Ventilé	+ 0,5	+ 4,5	— 3,0
Sol (beau temps ou pluie)	— 1,5	— 2,5	— 5,0

★ Foins de trèfle violet

$$MAD_0 = -21{,}8 + 0{,}742\ MAT_0 \pm 8{,}7 \qquad r = 0{,}966\ n = 15$$

3. Ensilages

Les modifications de composition chimique et de digestibilité entraînées par l'ensilage ont été tirées d'une étude portant sur la comparaison de 277 fourrages verts (217 graminées, 39 luzernes et 22 trèfles violets) aux ensilages correspondants (cf. MICHALET-DOREAU et DEMARQUILLY, 1981 ; DULPHY et MICHALET-DOREAU, 1981). Toutes les données sur les ensilages ont été rapportées à une teneur en matière sèche corrigée pour tenir compte des pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve (DULPHY *et al.*, 1975) et l'azote de l'ensilage a été déterminé sur l'ensilage frais.

La teneur en matière sèche de l'ensilage (Y en g de MS/kg) a été estimée à partir de la teneur en matière sèche du fourrage vert (X en g de MS/kg) mis dans le silo par l'équation :

$$Y = 84{,}5 + \Delta + 0{,}6517\ X$$

avec les valeurs de Δ suivantes pour les ensilages en coupe directe, avec ou sans conservateur, et indépendamment de la finesse de hachage :

Graminées et prairies naturelles	— 5,4
Luzerne	— 2,6
Trèfle violet	+ 8,0

Quant à la teneur en matière sèche de l'ensilage correspondant à un fourrage préfané à 350 g de MS/kg, elle a été estimée à 335 g.

Ces teneurs ne sont cependant données ici qu'à titre indicatif car elles peuvent, comme celles des fourrages verts, être très variables suivant l'année, la région, les conditions climatiques, et être influencées en outre, pour les ensilages, par le tassement et la hauteur du silo. Précisons par ailleurs que les teneurs en matière sèche des ensilages correspondent à des teneurs corrigées pour les pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve.

Les modifications de composition chimique, de digestibilité de la matière organique et de la cellulose brute et des quantités de matière sèche ingérées par le mouton «standard» sont données au tableau 3. Les équations de régression permettant de passer de la composition du fourrage vert à celle de l'ensilage correspondant dépendent aussi de la teneur en matière sèche du fourrage vert mis au silo, qui conditionne l'importance des pertes dans les jus.

TABLEAU 2

Equations de régression ayant servi à prévoir la composition chimique, les digestibilités de la matière organique (dMO en p. 100) et de la cellulose brute (dCB en p. 100) des foins et la quantité de matière sèche ingérée par des moutons «standards» (QIM en g MS/kg $P^{0,75}$) à partir des valeurs correspondantes des fourrages verts

		Cendres (g/kg MS)	Matières azotées (g/kg MS)	Cellulose brute (g/kg MS)	dMO (en p.100)	dCB (en p.100)	QIM (g MS/kg $P^{0.75}$)
Prairies	Ventilé	Y = 35,0 + 0,587 x	Y = - 1,0 + 0,963 x	Y = 42,5 + 0,927 x	Y = 4,8 + 0,867 x	Y = 10,85 + 0,831 x	Y = 12,5 + 0,690 x
naturelles	Sol, beau temps	Y = 14,7 + 0,796 x	Y = - 1,0 + 0,963 x	Y = 42,5 + 0,927 x	Y = 4,8 + 0,867 x	"	Y = 8,5 + 0,690 x
et	Sol,pluie< 10 jours	Y = 12,3 + 0,839 x	Y = - 6,0 + 0,963 x	Y = 84,8 + 0,852 x	Y =15,0 + 0,695x(1) Y = 3,8 + 0,867x(2)	"	Y = 4,0 + 0,690 x
graminées	Sol,pluie> 10 jours	Y = 18,7 + 0,683 x	Y = -11,0 + 0,963 x	Y = 96,8 + 0,852 x	Y =11,8 + 0,695x	"	Y = 1,0 + 0,690 x
	Ventilé	Y = 14,4 + 0,809 x	Y = 87,4 + 0,472 x	Y = 127,4 + 0,670 x	Y =18,1 + 0,659 x	Y = 1,5 + x	Y = 34,4 + 0,42 x
Luzerne	Sol, beau temps	Y = 2,4 + 0,809 x	Y = 83,4 + 0,472 x	Y = 150,4 + 0,670 x	Y =17,0 + 0,659 x		Y = 30,4 + 0,42 x
	Sol, pluie	Y = 0,4 + 0,809 x	Y = 78,4 + 0,472 x	Y = 193,4 + 0,670 x	Y =12,1 + 0,659 x		Y = 25,4 + 0,42 x
Trèfle	Ventilé	Y = x - 12	Y = x - 16	Y = x + 38	Y = 16,9 + 0,659 x	Y = x - 3,2	Y = - 3,5 + 0,96 x
violet	Sol	Y = x - 3	Y = x - 13	Y = x + 48	Y = 29,7 + 0,415 x	Y = x - 5,1	Y = - 3,5 + 0,96 x

(1) quand $x \geq 65$; (2) quand $x < 65$

TABLEAU 3

Equations de régression ayant servi à prévoir la composition chimique, les digestibilités de la matière organique (dMO) et de la cellulose brute (dCB) des ensilages et la quantité de matière sèche ingérée par des moutons «standards» (QIM en g MS/kg $P^{0,75}$) à partir des valeurs correspondantes (x) et de la teneur en matière sèche (MSV en g/kg) du fourrage vert à la mise en silo

	Techniques d'ensilage	Cendres (g/kg MS)	Matières azotées (g/kg MS)	Cellulose brute (g/kg MS)	dMO (en p.100)	dCB (en p.100)	QIM (g MS/kg $P^{0.75}$)
Prairies naturelles et graminées	BC-sc[1]	Y =-37,4 + 0,1501MSV + 1,0654x	Y =16,1 + 0,0627MSV + 0,8062 x	Y =124,95 - 0,216MSV + 0,766 x	Y = 6,0 + 0,92 x	Y =34,96 - 0,0306CBV + 0,674 x	Y = 25,4 + 0 + 0,416 x
	BC ac	"	"	"	"	"	Y = 25,4 + 2,5 +0,416x
	BM sc	"	"	"	"	"	Y = 16,5 + 0 + 0,413 x
	BM ac	"	"	"	"	"	Y = 16,5 + 1,6 +0,413x
	BL sc	"	"	"	"	"	Y = 15,9 + 0 + 0,260 x
	BL ac	"	"	"	"	"	Y = 15,9 + 1,5 +0,260x
	Préfané	Y = 21,0 + 0,8819 x	Y = 26,3 + 0,8594 x	Y = 31,0 + 0,9351 x	Y =6,0 -2,0 +0,92x	Y =39,12 + 0,5118x	Y = x - 18
Luzerne	BC sc	Y =-37,4 + 0,1501MSV + 1,0654 x	Y =28,4 + 0,0827MSV + 0,7203 x	Y = 104,9 + 0,713 x	Y =6,0 -1,0 +0,92x	Y =21,19 + 0,602 x	Y = 6,1 + 0,76 x
	BC ac	"	"	"	"	"	Y = 6,5 + 0,80 x
	BM sc	"	"	"	"	"	Y = 5,2 + 0,65 x
	BM ac	"	"	"	"	"	Y = 5,5 + 0,69 x
	Préfané	Y = x	Y = x	Y = 111,9 + 0,6573x	Y =6,0 - 3,0 +0,92x	Y = 18,7 + 0,714x	Y = 0,85 x
Trèfle violet	BC sc	Y =-37,4 + 0,1501MSV + 1,0654 x	Y =67,1 + 0,0864MSV + 0,5094 x	Y =100,9-8,7-0,1955MSV + 0,8317 x	Y =6,0 -3,0 + 0,92x	Y =16,78 + 0,765x	Y = 6,1 + 0,76 x
	BC ac	"	"	"	"	"	Y = 6,5 + 0,80 x
	BM sc	"	"	"	"	"	Y = 5,2 + 0,65 x
	BM ac	"	"	"	"	"	Y = 5,5 + 0,69 x

(1) BC, BM, BL : brins courts, moyens ou longs ; sc, ac : sans ou avec conservateur

La digestibilité des matières azotées a été estimée à partir des liaisons entre les matières azotées digestibles (MAD_0 en g/kg MO) et les matières azotées totales (MAT_0 en g/kg MO) données par INRA (1981).

$$MAD_0 = -29{,}2 + 0{,}824\ MAT_0 + \Delta \pm 5{,}7 \quad r = 0{,}986 \quad n = 118$$

avec $\Delta = +4$ pour les ensilages sans conservateur
$= +1{,}5$ pour les ensilages avec conservateur.

II. Calcul de la valeur énergétique et azotée

1. Valeur énergétique

Comme en 1978, l'énergie nette (EN) a été calculée à partir de la teneur en énergie brute (EB), du coefficient de digestibilité de l'énergie (dE), du rapport entre les teneurs en énergie digestible et en énergie métabolisable ($\frac{ED}{EM}$) et du rendement k de l'utilisation de l'énergie métabolisable pour la production laitière ou l'ensemble «entretien + production de viande»

$$EN = EB \times dE \times \frac{EM}{ED} \times k$$

Des modifications mineures ayant été apportées dans le passage dMO — dE, dans le rapport $\frac{EM}{ED}$, dans l'énergie brute des ensilages et dans la valeur EN de l'orge de référence, nous rappelons brièvement les équations utilisées.

1.1. Energie brute

Fourrages verts ou secs : EB (Y en kcal/kg de matière organique) a été estimée à partir de la teneur en matières azotées (X en g/kg de matière organique) par l'équation

$$Y = 4531 + \Delta + 1{,}735\ X \pm 38 \quad r = 0{,}945 \quad n = 166$$

avec $\Delta = +82$: fourrages verts de luzerne et de prairie permanente de plaine ; foins de prairie permanente de plaine (altitude < 700 m) ou de montagne

$\Delta = -11$: fourrages verts de trèfle violet, de sainfoin, de prairie permanente de montagne ; plantes entières de céréales immatures à l'état frais (maïs, blé, orge...) ; foins de prairie artificielle ou temporaire (luzerne, ray-grass...)

$\Delta = -71$: fourrages verts de graminées (dactyle, ray-grass...).

En revanche, l'énergie brute de la plante de sorgho a été estimée par l'équation particulière

$$Y = 4478 + 1{,}265\ X \pm 37 \quad r = 0{,}900 \quad n = 8$$

Pour d'autres fourrages verts ou secs (tournesol, chou, colza, paille...) nous n'avons pas observé de liaison avec la teneur en matières azotées et, dans ce cas, l'énergie brute a été mesurée à la bombe calorimétrique directement sur un certain nombre d'échantillons (de 3 à 9 suivant les aliments).

Ensilages : en 1978, en l'absence d'un nombre suffisant de données, nous avions adopté comme valeur EB des ensilages d'herbe, celle du fourrage vert de départ.

Pour les Tables de 1988, nous avons estimé l'énergie brute (Y en Kcal/kg MO) des ensilages d'herbe en coupe directe grâce à une équation que nous avons établie à partir des données publiées par le Rowett Research Institute (Feedingstuffs evaluation unit : report 1975, 1978 et 1984) après élimination de 11 ensilages dont 6 ensilages de graminées préfanés et 3 ensilages de luzerne, eux-mêmes préfanés

$$Y = 3910 + 2{,}450\ MAT_0 + 169{,}6\ pH \pm 84 \quad r = 0{,}766$$
pour n = 40 (15 sans conservateur et 25 avec conservateur

L'énergie brute augmente donc avec le pH de l'ensilage. Quant au coefficient affectant les matières azotées (MAT_0 en g/kg MO) il est plus élevé que pour les fourrages verts, mais les matières azotées jouent aussi par l'intermédiaire de la qualité de conservation. L'écart-type réduit (84 Kcal) est assez élevé et n'est pas amélioré quand on prend en compte les teneurs en acide lactique et en acides gras volatils des ensilages. Il doit résulter essentiellement des variations de la teneur en alcools, riches en énergie (éthanol : 7111 Kcal/kg), mais la teneur en alcools des ensilages étudiés n'a pas été déterminée.

Pour ces ensilages en coupe directe, l'augmentation de teneur en EB par comparaison à l'EB estimée des fourrages verts de même teneur en MAT_0 est de 4,3 % (avec Δ fourrages verts $= -11$) ou 5,6 % (avec $\Delta = -71$). L'augmentation est plus faible que celle (+ 9,3 %) réellement mesurée dans 18 comparaisons par Mc DONALD et EDWARDS (1976). Elle résulte des pertes de matière sèche sans pertes concomitantes d'énergie entraînées par les fermentations anaérobies de l'ensilage.

Pour les ensilages préfanés nous avons adopté une augmentation de l'EB de 3 % par comparaison à l'EB du fourrage vert de départ, valeur voisine de celle (3,7 %) réellement mesurée dans 7 comparaisons par Mc DONALD et EDWARDS (1976).

Enfin, pour les ensilages de maïs, l'énergie brute a été déterminée (VERMOREL, résultats non publiés) sur 65 échantillons d'ensilage frais d'une teneur en matière sèche, corrigée pour les pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve, variant de 31,2 à 41,5 % et d'une valeur moyenne de 36,3 %. La teneur en énergie brute est en moyenne de 4447 ± 103 kcal/kg de MS soit 4678 ± 110 kcal par kg MO. La variabilité (± 2,3 %) ne dépend pas significativement des teneurs en grains ou en composés fermentaires de l'ensilage ; elle pourrait résulter en partie de l'incertitude dans la détermination de la teneur en MS de l'ensilage. Cette nouvelle valeur retenue (4678 kcal/kg MO) correspondant à une augmentation de 2,6 % de la valeur utilisée en 1978.

Dans le cas des ensilages de maïs à faible teneur en MS les données obtenues par HINDLE (résultats non publiés) aux Pays Bas sur 22 échantillons d'une teneur en MS variant de 2 à 31 %, mettent en évidence une augmentation de la teneur en énergie brute quand la teneur en matière sèche diminue. Cette augmentation doit résulter du fait que la fermentation est plus intense et qu'elle donne plus d'alcools. Pour une teneur en MS de 25 %, l'énergie brute est de 1,8 % plus élevée que celle que nous avons trouvée. Nous avons adopté une augmentation de 2 % pour tous les ensilages dont la teneur en matière sèche est inférieure ou égale à 30. Elle est donc de 4772 kcal/kg MO.

1.2. Digestibilité de l'énergie (dE) et énergie digestible (ED)

Disposant d'un nombre de comparaisons plus important qu'en 1978, nous avons pu proposer une équation par type de fourrage pour la prévision de la dE (Y) à partir de la dMO (X), les deux exprimées en unité, soit par exemple 0,80 pour 80 %.

Fourrages verts de graminées et de légumineuses fourragères
$Y = 0{,}957\ X - 0{,}00068 \pm 0{,}006 \qquad r = 0{,}995 \qquad n = 59$

Foins de graminées et de légumineuses fourragères
$Y = 0{,}985\ X - 0{,}02556 \pm 0{,}006 \qquad r = 0{,}985 \qquad n = 31$

Pailles (normales ou traitées)
$Y = 0{,}985\ X - 0{,}02949 \pm 0{,}008 \qquad r = 0{,}996 \qquad n = 48$

Ensilages de graminées et de légumineuses fourragères
$Y = 1{,}0263\ X - 0{,}05723 \pm 0{,}008 \qquad r = 0{,}991 \qquad n = 19$

Ensilages de maïs
$Y = 1{,}001\ X - 0{,}02860 \pm 0{,}007 \qquad r = 0{,}981 \qquad n = 27$

La teneur en ED (en Mcal/kg MS) donnée dans les Tables résulte donc du calcul $ED = EB \times dE$

1.3. Energie métabolisable (EM)

La teneur en EM (en Mcal/kg MS) donnée dans les Tables résulte du calcul $EM = ED \times \frac{EM}{ED}$

Le rapport $\frac{EM}{ED}$ a été recalculé par VERMOREL et AGABRIEL (résultats non publiés) à partir de 346 données sur moutons ou vaches.

$$\frac{EM}{ED} = \frac{1}{100} \times (84{,}17 - 0{,}0099\ CB_0 - 0{,}0196\ MAT_0 + 2{,}21\ NA)$$

CB_0 et MAT_0 sont respectivement les teneurs du fourrage en cellulose brute et en matières azotées (en g/kg MO) et NA le niveau d'alimentation, soit le rapport $\frac{\text{MOD ingérée (en g/kg } P^{0,75})}{23}$, le besoin énergétique d'entretien du mouton étant de 23 g de MOD/kg $P^{0,75}$.

La nouvelle équation conduit à des valeurs très voisines de celles obtenues par l'équation proposée en 1978 (cf. VERMOREL *et al.*, 1987).

1.4. Energie nette (EN)

Il n'y a pas de changement dans le calcul par rapport à 1978, sinon que la valeur de l'orge est maintenant de 1700 kcal d'énergie nette pour le lait (ENL) et de 1820 kcal d'énergie nette pour l'entretien et la production de viande (ENEV) par kg brut d'orge de référence à 87 % de matière sèche (cf. VERMOREL *et al.*, 1987).

Le calcul est donc : $ENL = EM\ (0{,}463 + 0{,}24\ q)$

$$ENEV = EM \frac{0{,}3358\ q2 + 0{,}6508\ q + 0{,}005}{0{,}9235\ q + 0{,}2830}$$

avec $q = EM/EB$

$$\text{et UFL/kg MS} = \frac{ENL}{1700}$$

$$\text{UFV/kg MS} = \frac{ENEV}{1820}$$

Cas particuliers des betteraves et de certaines racines

Contrairement à ce que nous avions adopté en 1978, nous avons considéré que le sucre n'avait pas d'effet dépressif sur l'utilisation de la ration quand il représente moins de 10 p. 100 de la matière sèche de la ration (VAN ES *et al.*, 1971). Cela correspond au moins à 3 kg de matière sèche de racines par jour chez un bovin adulte. Jusqu'à cette quantité, la valeur énergétique est donc celle calculée à partir de la digestibilité de l'énergie de ces racines. En revanche, de nombreux essais d'alimentation réalisés notamment au Danemark et en France ont montré que, lorsque les betteraves (mais cela doit être aussi le cas pour les autres racines riches en sucres : carottes, navets, rutabagas...) représentent une part importante de la ration, leur valeur énergétique est voisine de 1,00 UF par kg de matière sèche pour la production laitière comme pour la production de viande. L'excès de sucre, en effet, a un effet dépressif sur l'utilisation digestive et métabolique des rations (NEHRING *et al.*, 1965).

TABLEAU 4

Comparaison entre les valeurs UF calculées par les modes de calcul proposés en 1978 et ceux proposés en 1988. Cas du ray-grass italien au premier cycle de végétation

	Fourrage vert				Ensilage (cas du direct sans conservateur)				Foin (cas du foin ventilé)			
	UFL		UFV		UFL		UFV		UFL		UFV	
	1978	1988	1978	1988	1978	1988	1978	1988	1978	1988	1978	1988
Feuillu	0,99	0,99	0,97	0,96	0,99	1,02	0,97	0,99	0,91	0,91	0,86	0,86
Epi à 10 cm	0,99	0,99	0,96	0,96	0,99	1,01	0,96	0,97	0,89	0,90	0,84	0,84
Début épiaison - 1 semaine	0,89	0,90	0,84	0,85	0,89	0,93	0,84	0,87	0,81	0,82	0,75	0,75
Début épiaison	0,86	0,87	0,81	0,82	0,86	0,90	0,81	0,84	0,79	0,80	0,72	0,73
Epiaison	0,80	0,81	0,73	0,75	0,80	0,84	0,73	0,77	0,73	0,74	0,66	0,66
Fin épiaison	0,77	0,78	0,70	0,72	0,77	0,81	0,70	0,73	0,71	0,72	0,63	0,63
Début floraison	0,71	0,73	0,64	0,66	0,71	0,76	0,64	0,67	0,66	0,67	0,58	0,58
Floraison	0,64	0,66	0,56	0,58	0,64	0,68	0,56	0,59	0,60	0,61	0,51	0,52

2. Valeur azotée

La valeur azotée des fourrages est donnée sous 2 expressions :

— la teneur en matières azotées digestibles (MAD)

MAD g/kg MS = MAT g/kg MS × digestibilité apparente des matières azotées

— la teneur en protéines digestibles dans l'intestin grêle (PDI) qui a subi de profonds remaniements et pour lesquelles trois valeurs sont données (cf. VERITE *et al.*, 1987) :

★ PDIA : protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire

PDIA en g/kg MS = MAT g/kg MS (1 — DT) × 1,11 × dr

Les valeurs retenues pour la dégradabilité théorique (DT) des matières azotées dans le rumen estimée par la méthode des sachets de nylon et pour la digestibilité réelle (dr) sont les suivantes :

	100 × DT	100 × dr	
		graminées	légumineuses
Fourrages verts	73	75	75
Foins	66	70	75
Pailles, cannes et spathes	60	70	
Ensilages d'herbe :			
— direct sans conservateur	78	60	55
— préfané	75	60	55
— direct avec conservateur	70	65	60
Ensilage de maïs plante entière	72	70	
Ensilage de cannes de maïs	78	60	
Ensilage d'épi de maïs	55	90	
Ensilage de blé	72	70	
Ensilage d'orge	72	70	
Ensilage de féverole avec conservateur	70	55	
Ensilage de pois avec conservateur	70	60	
Ensilage de tournesol sans conservateur	70	70	
Ensilage de choux sans conservateur	70	65	
Betteraves, endives, navets	85	65	
Carottes	85	60	
Manioc	75	95	
Pommes de terre	65	60	
Rutabagas et topinambours	85	95	
Pulpes de betteraves ensilées	60	65	
Pulpes de betteraves déshydratées	48	70	
Mélasse de betteraves et vinasses	100	—	
Feuilles et collets de betteraves	75	70	
Mélasse de canne	100	—	
Pulpe de pommes de terre	65	95	
Protéines de pommes de terre	35	90	

★ PDIN : protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote

PDIN en g/kg MS = PDIA + PDIMN

avec PDIMN en g/kg MS = MAT g/kg MS × (1 — 1,11 (1 — DT)) × 0,9 × 0,8 × 0,8

car on considère que les matières azotées dégradées dans le rumen sont captées à 90 % (0,9) et servent à fabriquer des matières azotées microbiennes contenant 80 % de protéines, elles-mêmes digestibles à 80 %.

★ PDIE : protéines digestibles dans l'intestin permises par l'énergie

PDIE en g/kg MS = PDIA + PDIME

avec PDIME en g/kg MS = MOF × 145 × 0,8 × 0,8

équation dans laquelle MOF (en kg par kg MS) est la matière organique fermentée dans le rumen et utilisable pour la synthèse de 145 g de matières azotées microbiennes. MOF est égale à la matière organique digestible (MOD) diminuée des matières azotées non dégradées (MAT (1 — DT)), de l'extrait à l'éther (EE) et des produits de fermentation dans le cas des ensilages (PF)

$$MOF = MOD - MAT\ (1 - DT) - EE - PF$$

Les valeurs retenues pour les produits de fermentation (somme de l'acide lactique, des acides gras volatils et des alcools) des ensilages correspondent à des moyennes observées dans les essais en silos expérimentaux de 4 m^3 effectués par le Laboratoire des Aliments. Ces moyennes sont identiques à celles observées en grands silos (100 t) au domaine INRA d'Orcival. Elles sont les suivantes (en g/kg MS) :

	Ensilage direct		Ensilage préfané
	sans conservateur	avec conservateur	
Dactyle	115	95	80
Prairie naturelle	140	85	80
Ray-grass anglais	155	100	80
Ray-grass italien	165	95	80
Luzerne	155	80	80
Trèfle violet	140	85	80
Autres graminées	150	90	80
Maïs : 25 % matière sèche	125		
30 % matière sèche	100		
> 30 % matière sèche	80		

Quant aux teneurs en EE, nous ne les avons jamais déterminées. Elles sont donc tirées de la bibliographie ou des Tables de composition des aliments étrangères. Les valeurs retenues en g/kg matière sèche pour les fourrages verts et déshydratés sont données en annexe.

Cas particuliers des pailles traitées à l'ammoniac

Une partie de l'azote fixé lors du traitement des pailles à l'ammoniac, qu'il soit soluble ou insoluble, n'est plus sous forme d'ammoniac. Par ailleurs une partie de l'azote fixé se retrouve dans les fèces. Les matières azotées non digestibles (en g/kg MS) des pailles non traitées sont en moyenne de 39 g alors qu'elles sont de 54 g après traitement, soit une augmentation de 15 g.

La valeur azotée des pailles traitées a donc été calculée comme suit :

★ PDIA : même valeur que celle de la paille non traitée correspondante.

On considère donc que le traitement n'a pas modifié la valeur PDIA, ce qui est peut-être un peu optimiste.

★ PDIMN g/kg MS) = [MAT g/kg MS paille traitée — MAT g/kg PS paille non traitée (1 — DT de la paille non traitée) × 1,11 — 15] × 0,8 × 0,8 × 0,8

car on considère que les matières azotées dégradées dans le rumen sont égales aux MAT de la paille traitée, diminuées des MAT de la paille non traitée non dégradées dans le rumen et du supplément de MAT retrouvées dans les fèces. Ces matières azotées dégradées sont captées à 80 % (0,8) et servent à fabriquer des matières azotées microbiennes contenant 80 % de protéines, elles-mêmes digestibles à 80 %.

★ PDIME en g/kg MS = MOF en kg × 145 × 0,8 × 0,8
avec MOF = MOD — MAT paille non traitée (1 — DT) — EE

III. Unités d'encombrement

Pour prévoir les quantités de fourrages ingérées par les différentes catégories de ruminants, trois unités d'encombrement figurent dans les Tables de 1988, l'unité de référence (UE = 1) correspondant toujours à l'herbe jeune, exploitée au stade «pâturage», ingérée à raison de 75 g MS/kg $P^{0,75}$ par le mouton standard (cf. DULPHY *et al.*, 1987).

★ Une unité d'encombrement moutons (UEM). Sa valeur résulte des mesures d'ingestibilité effectuées sur le mouton «standard» ayant servi à mesurer la digestibilité des différents fourrages.

L'UEM d'un fourrage ou d'un aliment est exprimée par le rapport :

$$\text{UEM} = \frac{75}{\text{quantité ingérée par le mouton du fourrage ou de l'aliment en g MS/kg } P^{0,75}}$$

Comme pour la digestibilité, la quantité ingérée par le mouton est celle réellement mesurée dans le cas des fourrages verts alors qu'elle est estimée par des équations de passage du fourrage vert au fourrage conservé (cf. tableaux 1 et 2) pour les foins et les ensilages.

★ deux unités d'encombrement bovins :

— l'unité d'encombrement bovins (UEB), pour les bovins en croissance et la vache allaitante et plus généralement tous les bovins, sauf les vaches laitières. Pour ces animaux l'herbe de référence a une ingestibilité de 95 g MS/kg $P^{0,75}$.

— l'unité d'encombrement vaches laitières (UEL) pour les vaches laitières. L'herbe de référence est ingérée à raison de 140 g MS/kg $P^{0,75}$ par une vache laitière produisant 25 kg de lait.

Si QIB et QIVL sont respectivement les quantités de matière sèche en g/kg $P^{0,75}$ d'un fourrage ou d'un aliment ingérées par ces deux catégories d'animaux, on a donc :

$$\text{UEB} = \frac{95}{\text{QIB}}$$

$$\text{et UEL} = \frac{140}{\text{QIVL}}$$

Pour tous les fourrages verts les valeurs QIB_v et $QIVL_v$ sont estimées à partir des quantités ingérées (QIM_v en g MS/kg $P^{0,75}$) réellement mesurées sur les moutons :

$$QIB_v = 22,4 + 0,969\ QIM_v$$
$$QIVL_v = 78,0 + 0,826\ QIM_v$$

Pour les foins, les quantités ingérées par les bovins et les vaches laitières QIB_F et $QIVL_F$ sont :

★ soit estimées à partir des QIB_v et $QIVL_v$, elles-mêmes estimées à partir des QIM_v. C'est le cas pour les foins de prairie naturelle de plaine et les foins de graminées. Les équations de passage utilisées sont les suivantes :

	Pour les bovins QIB_F est égal à	Pour la vache laitière $QIVL_F$ est égal à
Foins ventilés et Foins séchés au sol par beau temps	QIB_v	$QIVL_v$
Foins séchés au sol, ayant reçu de la pluie, mais étant restés moins de 10 jours au sol	$5,2 + 0,865\ QIB_v$	$11,4 + 0,865\ QIVL_v$
Foins séchés au sol, ayant reçu de la pluie et étant restés plus de 10 jours sur le sol	$10,4 + 0,730\ QIB_v$	$22,8 + 0,73\ QIVL_v$

★ soit le résultat des mesures directement effectuées sur ces deux catégories d'animaux. C'est le cas pour les foins de prairie naturelle de demi-montagne et des foins de luzerne. C'est aussi le cas des pailles et des fourrages déshydratés.

Pour les ensilages, les quantités ingérées par les bovins et les vaches laitières QIB_E et $QIVL_E$ sont de même :

	Pour les bovins QIB_E est égal à	Pour les vaches laitières $QIVL_E$ est égal à
Ensilage direct, brins courts sans conservateur	$QIB_v(1 - 0,0158(32-\%MS))$	$QIVL_v(1 - 0,0107(32-\%MS))$
Ensilage direct, brins courts avec conservateur	$QIB_v(1 - 0,0127(27-\%MS))$	$QIVL_v(1 - 0,0086(27-\%MS))$
Ensilage direct, brins longs sans conservateur	$QIB_v(1 - 0,0127(45-\%MS))$	$QIVL_v(1 - 0,0086(45-\%MS))$
Ensilage direct, brins longs avec conservateur	$QIB_v(1 - 0,0110(40,5-\%MS))$	$QIVL_v(1 - 0,0075(40,5-\%MS))$
Ensilage préfané, 35 % MS	$QIB_v \times 0,95$	$QIVL_v \times 0,965$

★ soit le résultat des mesures directement effectuées sur ces deux catégories d'animaux. C'est le cas notamment des ensilages de prairie naturelle de montagne, de luzerne, de maïs, de pulpes, etc.

IV. Prévision de la valeur alimentaire des fourrages

A la suite des nouveaux systèmes d'expression de la valeur énergétique, de la valeur azotée et de la valeur d'encombrement des aliments adoptés en 1978, il avait été nécessaire de proposer des Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages (ANDRIEU *et al.*, INRA, 1981). A la suite des modifications apportées aux différents systèmes, il importe de savoir dans quelle mesure ces Tables de prévision demeurent utilisables.

1. Valeur énergétique

Les Tables INRA (1981) permettaient de prévoir la digestibilité de la matière organique et les valeurs énergétiques en UFL et UFV des fourrages verts ou conservés à partir de l'âge ou de la composition chimique de ces fourrages.

Ces Tables demeurent bien évidemment valables pour prévoir la digestibilité des fourrages, mais elles le demeurent encore pour prévoir directement les valeurs énergétiques, compte tenu des faibles modifications apportées au système des UF. Les modifications proviennent surtout de celles apportées à l'énergie brute

Pour les fourrages verts et les foins, les teneurs en énergie brute n'ont pas été modifiées. Les valeurs UF 1978 et 1988 sont donc très voisines comme le montrent les résultats portés au tableau 4. Pour les fourrages verts la hausse passive de 1,8 % de la valeur énergétique due à la diminution de l'énergie nette de l'orge, a été en partie annulée par le moindre poids donné au niveau d'alimentation (2,21 au lieu de 2,43) dans le calcul du rapport EM/ED. Le poids de ce rapport a d'autant plus joué que les fourrages étaient jeunes, digestibles et bien consommés

En moyenne on pourra donc retenir les modifications suivantes dans le cas des fourrages verts :

UFL 1978	$< 0,75$	$0,75 \leq$ UFL $< 0,95$	$\geq 0,95$
ΔUFL 1988	+ 0,02	+ 0,01	0

UFV 1978	$< 0,80$	$0,80 \leq$ UFV $< 0,95$	$\geq 0,95$
ΔUFV 1988	+ 0,02	+ 0,01	0

Pour les foins, les valeurs 1978 et 1988 sont les mêmes par suite de la diminution (en moyenne de 0,5 point) de la digestib

lité de l'énergie due à la nouvelle équation de passage DMO → DE.

En revanche, pour les ensilages d'herbe, l'augmentation de l'ordre de 5 % de la teneur en énergie brute entraîne une augmentation de la valeur énergétique, mais elle n'est que de 0,03 UFL ou UFV, par suite de la diminution de 0,8 point en moyenne de la digestibilité de l'énergie.

Pour les ensilages de maïs, l'augmentation de 2,6 % de l'EB a joué dans le même sens que l'augmentation de 0,5 point de la digestibilité de l'énergie. UFL et UFV 1988 sont respectivement supérieures de 0,05 et de 0,01 pour tous les ensilages de maïs plante entière donnés dans les Tables. Dans le cas des UFV les valeurs calculées ont été diminuées de 5 % pour tenir compte des interactions.

Les Tables de prévision de 1981 restent donc valables, moyennant quelques corrections, pour prévoir la valeur énergétique des fourrages verts et conservés. Nous rappelons en outre que si on a recours aux analyses pour prévoir la valeur énergétique des ensilages, notamment d'herbe, ces analyses doivent être effectuées sur le fourrage vert au moment de la mise en silo. La prévision est plus précise car elle évite toutes les erreurs dues aux pertes de matière sèche volatile lors du séchage à l'étuve. D'un point de vue pratique, l'analyse des fourrages à la mise en silo permet en outre de connaître la valeur énergétique de l'ensilage avant même l'ouverture du silo.

On sait cependant que ces Tables 1981 sont difficilement utilisables pour prévoir la digestibilité, et par là, la valeur énergétique des fourrages de prairies à flore complexe ne figurant pas dans ces Tables. Pour ceux-ci il faudra mieux utiliser la méthode à la pepsine-cellulase (AUFRERE, 1982 ou AUFRERE et MICHALET-DOREAU, 1983 in DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1987). Il faudra alors utiliser la méthode analytique pour le calcul des UF ou plus simplement se reporter dans les Tables 1981 à la prévision de la valeur énergétique des fourrages de prairies naturelles et prendre directement la valeur énergétique en UFL et UFV correspondant à la digestibilité de la matière organique trouvée.

2. Valeur azotée

Si les Tables de prévision de 1981 restent valables pour prévoir les MAD, elles sont inutilisables pour prévoir les PDI 1988, compte tenu des modifications importantes apportées au système. Les laboratoires d'analyses devront donc, dans l'immédiat, calculer les valeurs PDI en adoptant la démarche analytique proposée ci-dessus, après avoir déterminé la teneur en azote du fourrage et estimé, grâce aux Tables de 1981, sa teneur en matière organique digestible. Les autres constituants (éther extrait, produits de fermentation) ou valeurs (DT, dr) nécessaires au calcul ont été donnés dans cet article pour qu'ils puissent servir aux calculs des PDI.

3. Valeur d'encombrement

Les modifications apportées à la valeur d'encombrement des fourrages ne permettent plus d'utiliser les Tables de prévision 1981 pour prévoir directement les valeurs UEB et UEL des fourrages. Seule la prévision de la valeur UEM reste valable. Dans le cas des fourrages verts on pourra passer des UEM aux UEB et UEL, mais cela est rarement demandé aux laboratoires d'analyses. Dans le cas des fourrages conservés, le passage des UEM aux UEB et UEL est pratiquement impossible sauf pour les ensilages d'herbe si l'analyse est faite sur le fourrage lors de la mise en silo. Il est donc inutile pour établir les rations pour les bovins de demander aux laboratoires d'analyse de prévoir la valeur UE des fourrages. Les valeurs données dans les Tables 1988 doivent être utilisées (après correction dans le cas des ensilages d'herbe pour tenir compte d'une teneur en matière sèche éventuellement différente de celle des Tables) et on pourra vérifier, a posteriori, par quelques contrôles de quantités ingérées que la valeur prédite ne s'éloigne pas trop de la valeur mesurée.

Références bibliographiques

ALIBES X., ALBERTI P., 1977. Evolucion del valor alimenticio del nabo forrajero (Brassica rapa L.). Anales Est. Exp. de Aula Dei, **14**, 188-200.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., WEGAT-LITRE Erna, WEISS Ph., 1981. Prévision de la valeur énergétique des foins, in «Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants», INRA Publ., p. 119-127.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., WEGAT-LITRE Erna, 1981. Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages, in «Prévision de la valeur nutritive des Ruminants», INRA Publ., p. 345-580.

AUFRERE Jocelyne, 1982. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. Ann. Zootech., **31**, 111-130.

AUFRERE Jocelyne, MICHALET DOREAU Brigitte, 1983. Prévision de la digestibilité des aliments concentrés et des fourrages par la méthode à la pepsine-cellulase, in C. Demarquilly Ed., «Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation». INRA, Paris, p. 270-271.

BLANCHARD G., VIGNON B., 1972. Utilisation par les ruminants du seigle immature - Bull. ENSAIA Nancy, **14**, p. 147-156.

DEMARQUILLY C., 1970. Influence de la déshydratation à basse température sur la valeur alimentaire des fourrages. Ann. Zootech., **19**, p. 45-51.

DEMARQUILLY C., WEISS Ph., 1970. Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages. Etude SEI, n° 42.

DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., 1987. Prévision de la valeur alimentaire des fourrages secs au laboratoire, in C. Demarquilly Ed., «Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation». INRA, Paris, p. 242-275.

DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., HENRY Martine, 1975. Pertes de composés volatils lors de la détermination à l'étuve de la teneur en matière sèche des ensilages. Ann. Zootech., **24**, 743-756.

DULPHY J.P., MICHALET-DOREAU Brigitte, 1981. Prévision de l'ingestibilité des ensilages d'herbe, in «Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants». INRA Publ., p. 169-187.

DULPHY J.P., FAVERDIN Ph., MICOL D., BOCQUIER F., 1987. Révision du système des unités d'encombrement. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

DUMONT Rolande, RAIGE A., TISSERAND J.L., 1978. Valeur alimentaire d'un colza fourrager (Brassica napus, var Oleifera) sur pied et après ensilage. Ann. Zootech., **27**, 617-630.

Feedingstuffs Evaluation Unit - Reports 1975-1978-1984. Rowett Research Institute - Department of Agriculture and Fisheries for Scotland.

GIOVANNI R., 1980. Valeur alimentaire de quelques crucifères fourragères cultivées dans l'ouest de la France. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **42**, 39-44.

GUEGUEN L., LAMAND M., MESCHY F., 1988. Nutrition minérale, in R. Jarrige éd. «L'alimentation des bovins, ovins et caprins». INRA Publ. Versailles.

INRA, 1978. Alimentation des ruminants. Ed. INRA Publ. (Route de Saint-Cyr), 78000 VERSAILLES.

INRA, 1981. Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. INRA Publ., Route de Saint-Cyr, 78000 VERSAILLES.

Mc DONALD P., EDWARDS RA., 1986. The influence of conservation methods on digestion of forages by ruminants. Proc. Nutr. Soc., **35**, 201-211.

MICHALET-DOREAU Brigitte, DEMARQUILLY C., 1981. Prévision de la valeur énergétique des ensilages d'herbe, in «Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants», INRA Publ., p. 105-117.

NEHRING K., SCHIEMANN R., HOFFMAN L., KLYPEL W., JENTSCH W., 1965. Utilisation of the energy of cellulose and sucrose by cattle, sheep and pigs. Proc. 3rd Symp. Energy Metabol., 249-268.

TISSERAND JL., ROUX M., 1976. Valeur alimentaire de la plante entière de féverole (Vicia Faba L.) en vert et après ensilage. Ann. Zootech., **25**, 169-180.

VAN ES A.J.H., NYKAMP H.J., VOGT J.E., 1971. The net energy content of dried sugar beet pulp and of sucrose when fed to lactating cows. Neth. J. Agric. Sci., **10**, 48-56.

VERITE R., MICHALET-DOREAU Brigitte, CHAPOUTOT P., PEYRAUD J.L. et PONCET C., 1987. Révision du système PDI. Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, **70**.

VIGNON B., BLANCHART G., DEMARQUILLY C., 1972. Utilisation par les ruminants du colza immature. Bull. ENSAIA Nancy, 24, 23-35.

VERMOREL M., BOUVIER J.C., DEMARQUILLY C., 1974. Influence du mode de conditionnement des fourrages déshydratés sur leur valeur énergétique nette pour le mouton en croissance. 6th Symp. Energy Metabolism of farm animals, EAAP, Publ. n° 14, p. 213-216.

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du système des unités fourragères. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70.

ANNEXE

Teneurs en extrait éthéré des fourrages verts et déshydratés (en g/kg MS)

- **Fourrages de prairie naturelle ou de graminées**

  années de semis : 30 quel que soit le stade

  année d'exploitation :
  1° cycle : déprimage, 35 ; feuillu, 31 ; épi à 10 cm, 27 ; début épiaison, 25 ; épiaison, 23 ; fin épiaison, 21 ; début floraison, 18 ; floraison, 16 ; fin floraison, 15
  repousses, 25.

- **Légumineuses**

  Luzerne :
  1° cycle : végétatif 30 cm, 36 ; végétatif 60 cm, 32 ; début bourgeonnement, 30 ; bourgeonnement, 28 ; début floraison, 25 ; floraison, 23 ;
  repousses : 30 quels que soient l'âge et le cycle
  Sainfoin : 30 quels que soient le stade et le cycle
  Trèfle blanc : 30 " " "
  Trèfle violet :
  1° cycle : végétatif, 33 ; début bourgeonnement, 30 ; bourgeonnement, 27 ; début floraison, 25 ; floraison, 23 ; fin floraison, 21
  repousses : 30 quels que soient le stade et le cycle.

- **Céréales plantes entières**

  Avoine : début montaison, 38 ; début épiaison, 30 ; floraison, 25 ; laiteux- pâteux, 25 ; pâteux, 30.
  Blé : quel que soit le stade
  Maïs : début formation de la graine, 22 ; laiteux-pâteux, 25 ; pâteux- vitreux, 30 ; vitreux, 30
  Orge : floraison, 20 ; laiteux, 25 ; laiteux-pâteux, 30 ; pâteux, 30
  Seigle : début montaison, 25 ; début épiaison, 25 ; épiaison, 25 ; floraison, 25 ; laiteux, 30 ; pâteux, 35.
  Sorgho :
  1° cycle : avant début de l'épiaison, 35 ; début épiaison, 31 ; épiaison, 29 ; floraison, 27 ; laiteux, 30
  repousses : feuillues, 35 ; épiées, 30

- **Protéagineux**

  Féverole : floraison, 30 ; formation des gousses, 30 ; graines consistantes, 25 ; début maturité de la graine, 20
  Lupin blanc : floraison, 25 ; début formation des graines, 30
  Pois : formation de la graine, 30 ; jaunissement de la graine, 35
  Soja :
  variétés précoces : formation des gousses, 25 ; début formation de la graine, 50 ; maturité de la graine, 75
  variétés tardives : début floraison, 20 ; floraison, 20 ; formation des gousses, 25 ; début formation de la graine, 35

- **Autres plantes**

  Silphium : 25 quel que soit le stade
  Tournesol : début formation du capitule, 20 ; début floraison, 30 ; fin floraison, 30 ; graine consistante, 75 ; début jaunissement capitule, 85 ; capitule jaune, 100
  Chou : 20 quels que soient les stades et les types
  Colza, en dérobé : feuillu, 45 ; bourgeonnement, 45 ; floraison, 40
  Colza, immature : feuillu, 45 ; bourgeonnement, 45 ; floraison, 40, formation de la silice, 35
  Perko : 30 quel que soit le stade.

Ces teneurs ont été considérées comme inchangées après ensilage et ont été divisées par 2 pour les fourrages correspondants après fenaison.

- **Pailles, cannes et spathes :** 15

- **Racines, tubercules et leurs sous-produits**

  Betteraves : 6 quel que soit le type
  Carottes : 14
  Endives : 20
  Manioc et pommes de terre : 2
  Navet : 15
  Rutabaga : 4
  Topinambour : 17
  Pulpes de betteraves, sèches ou ensilées : 15
  Mélasses de betteraves ou de cannes : 0
  Feuilles et collets de betteraves : propres 20
  sales 16
  Pulpes de pomme de terre : 7
  Protéines de pomme de terre : 0
  Vinasses : 0

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 75-89

Valeur nutritive des aliments concentrés simples : Tables et prévision

D. SAUVANT, Jocelyne AUFRERE*, Brigitte MICHALET-DOREAU*, Sylvie GIGER et P. CHAPOUTOT

INRA-INA PG, Station de Nutrition et Alimentation, 16, rue Claude-Bernard - 75231 Paris Cedex 05
**INRA-CRZV Theix, Laboratoire des Aliments, 63122 Ceyrat*

Introduction

Les connaissances sur les aliments concentrés, qu'ils soient simples ou composés, ont sensiblement évolué au cours de la dernière décennie. La composition et, même parfois, la nomenclature de certains aliments simples cités dans les Tables de 1978 (DEMARQUILLY *et al.*, 1978) ne sont plus les mêmes ; cet aspect concerne en particulier les sous-produits agro-industriels. En outre, certains aliments non cités à l'époque, sont aujourd'hui suffisamment connus pour pouvoir être répertoriés.

D'autre part, les méthodes d'évaluation et de prévision de la valeur nutritive des aliments concentrés, proposées par DEMARQUILLY *et al.* (1978) et actualisées par SAUVANT (1981) pour la valeur énergétique et par VERITE et SAUVANT (1981) pour la valeur azotée ont fait l'objet de recherches et d'amélioration. Ces travaux rendaient nécessaire une mise au point de l'état des connaissances sur la composition des aliments concentrés, leur valeur nutritive et sa prévision.

I. Les caractéristiques analytiques des Tables

1. Les caractéristiques analytiques classiques

L'actualisation des valeurs de composition a été faite par le regroupement, dans une base de données, des résultats d'analyse obtenus par des laboratoires français entre 1985 et 1987. Les laboratoires de l'Industrie de l'Alimentation Animale ont été les principaux fournisseurs de données, en particulier, les groupes CCPA, SANDERS et UCAAB. Pour les sous-produits agro-industriels, une partie des données résulte des travaux du RNED-Bovin et de l'IEMVT-CIRAD. Pour environ 10 % des aliments, le nombre de résultats était insuffisant, ce qui a nécessité de tenir compte des données des Tables de référence les plus récentes publiées dans la C.E.E. (Tables INRA Monogastriques, danoises, hollandaises et britanniques).

Pour chaque caractéristique (j) des aliments les plus courants, il a été possible d'agréger les écarts-type (S_{ij}) calculés au sein des différents laboratoires (i) en les pondérant par le nombre de résultats (n_{ij}) selon l'expression :

$$ETj = \frac{\sum_{i=1}^{k} (n_{ij} - 1)\, S^2_{ij}}{\sum_{i=1}^{k} n_{ij} - 1}$$

k étant le nombre de laboratoires ayant fourni au moins deux résultats pour la caractéristique j considérée. Les écarts-type ainsi obtenus sont consignés dans le livre sur l'alimentation des bovins, ovins et caprins (SAUVANT et MICHALET-DOREAU, 1988). Ces valeurs permettent de connaître l'amplitude de l'intervalle dans lequel se trouvent les deux tiers (± ET) ou 96 % (± 2 ET) des données si on fait l'hypothèse que la distribution de la caractéristique j suit une loi de Gauss, ce qui n'est pas toujours le cas. La connaissance de ces écarts-type permet d'avoir une idée de l'amplitude des variations intra-aliment de la valeur nutritive et de l'opportunité de la mise au point de méthodes simples capables de prévoir ces variations (cf le 3). En particulier, il convient de remarquer que les valeurs des écarts-type de la teneur en cellulose brute dépendent de son niveau dans l'aliment (figure 1).

Les écarts-type ainsi obtenus ne tiennent pas compte, par leur mode de calcul, des variations inter-laboratoires concernant un même échantillon. Le tableau 1 fournit un ordre de grandeur de ces variations sur la base de l'étude des résultats des chaînes du BIPEA (1) effectuées entre 1982 et 1984 (SAUVANT, 1985). En outre, les recommandations AFNOR proposent des valeurs de répétabilité (2,83 × écart-type intra-laboratoire = écart maximal permis entre 2 dosages successifs effectués sur un même aliment) pour les principales caractéristiques analytiques (figure 2).

D'autre part, pour un aliment donné, les caractéristiques analytiques ne varient pas de façon indépendantes ; elles sont fréquemment liées par des relations significatives qui permet-

(1) Bureau Interprofessionnel pour les Etudes Analytiques.

TABLEAU 1

Résultats de reproductibilité des analyses dans la chaîne BIPEA entre 1980 et 1984 (1)

	NOMBRE ECHAN-TILLONS	NOMBRE DE LABORATOIRES PAR ECHANTILLONS EN 81 ET 84	TENEUR MOYENNE (%) (X)	MOYENNE: ECART-TYPE INTER-LABO (Y)	RELATION ENTRE LA TENEUR (X) LA REPRODUCTIBILITE (Y)			
					CORRELATION	REGRESSION CONSTANTE	REGRESSION COEFFICIENT	ETR
HUMIDITE	68	40-60	11.00	0.460	0,21	0.238	0.020	0.240
CENDRES	68	40-60	7.89	0,282	0,73	0.047	0.030	0.127
PROTEINES BRUTES	68	40-60	22,87	0,544	0,83	0,154	0.017	0.185
CELLULOSE BRUTE	60	40-60	14,27	0,796	0,74	0.410	0,027	0.267
EXTRAIT ETHERE	37	30-45	5,09	0,295	0.56	0,215	0,016	0.090

(1) La reproductivité est exprimée en écart-type inter-laboratoires.

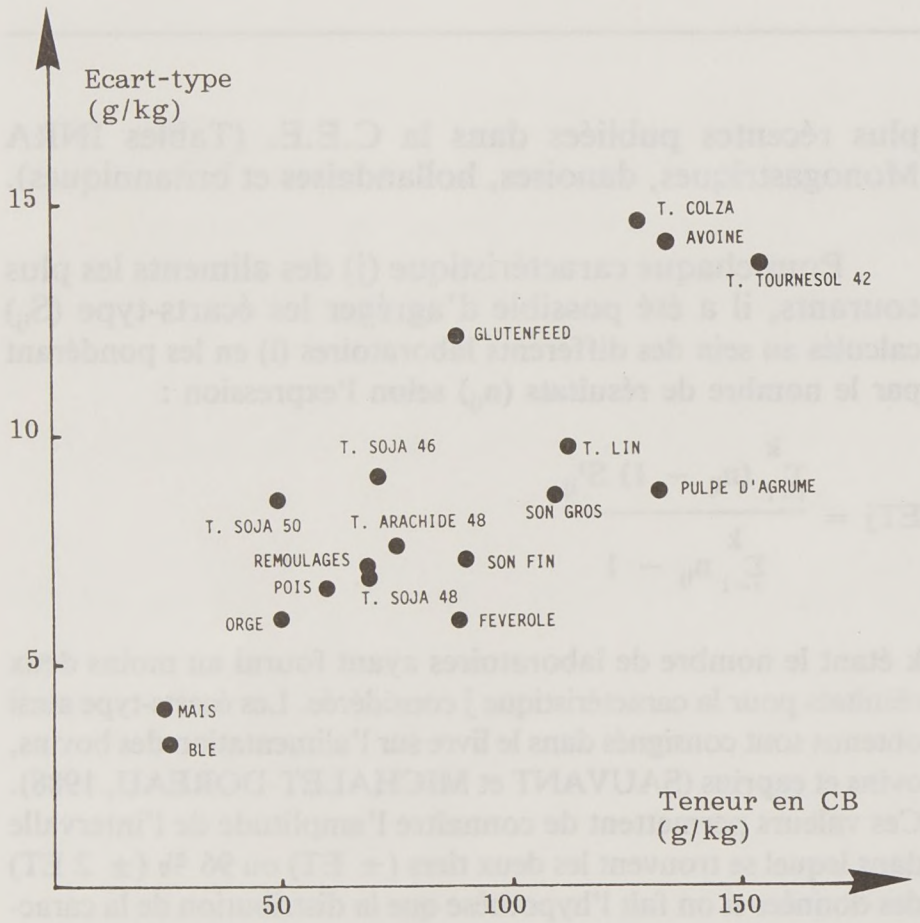
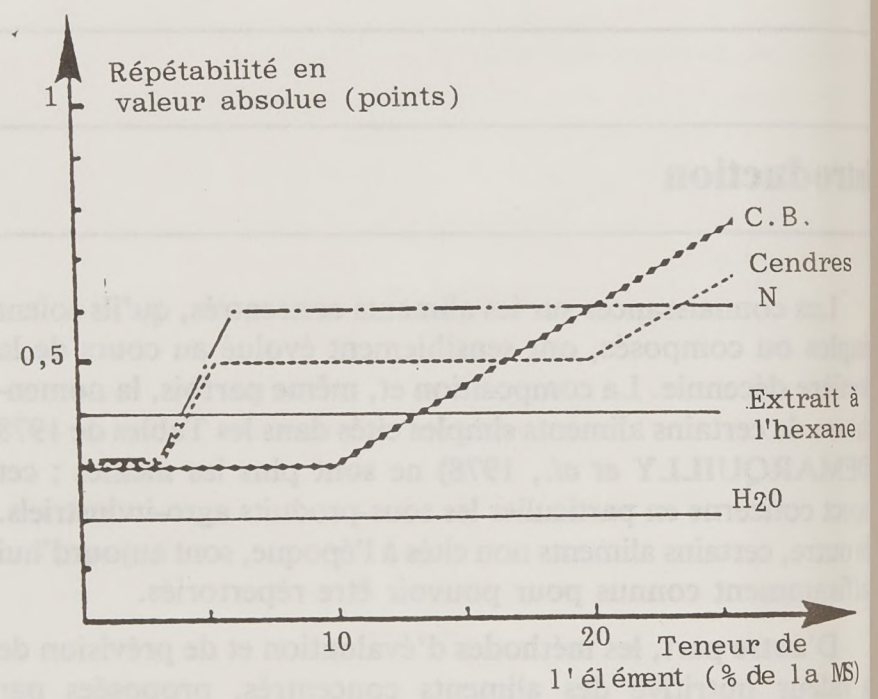


FIG. 1 : *Relation entre la teneur en cellulose brute et son écart-type pour les principales matières premières.*



Ecart maximal tolérable entre deux dosages simultanés (ou successifs) effectués par la même personne

FIG. 2 : *Répétabilité recommandée par l'AFNOR pour les principales caractéristiques analytiques des aliments.*

tent d'envisager de réduire le nombre de dosages en perdant un minimum d'informations (SAUVANT, 1976). Cependant, ces relations varient selon la matière première considérée ; elles ne sont, en outre, peut-être pas stables en fonction de l'année, de la saison, du fournisseur... Des études statistiques complémentaires d'une banque de données doivent donc être effectuées avant de pouvoir proposer des équations de passage fiable, d'un critère à l'autre, permettant de réduire le coût analytique.

2. Les autres caractéristiques

2.1. Les constituants des parois cellulaires.

Les limites du dosage de la cellulose brute pour les aliments concentrés ont été soulignées de nombreuses fois (NEHRING et BRAUN, 1961 ; NEHRING 1966, DERMARQUILLY *et al.*, 1978 ; SAUVANT, 1981). D'autres méthodes ont donc été proposées (JARRIGE, 1981 ; THIVEND, 1981 ; GIGER et POCHET, 1987, dans ce numéro). Depuis une quinzaine d'années la méthode VAN SOEST est de plus en plus utilisée par les laboratoires ; son intérêt réside dans l'utilisation de détergents au sein des solutions d'hydrolyse et dans ses possibilités de semi-automatisation.

Comme cette méthode était initialement conçue pour les fourrages, il a été nécessaire de l'adapter aux aliments concentrés, en particulier dans sa phase de détermination du résidu NDF (Neutral Detergent Fibre) qui constitue une valeur approchée des parois cellulaires (VAN SOEST et WINE, 1967). Ce résidu NDF contient pas ou peu de substances pectiques ; par contre il peut être plus ou moins pollué par de l'amidon, des protéines et des lipides. Ces substances entravent la filtration et biaisent ainsi les résultats. Leur présence nécessite l'emploi de prétraitements incluant une amylase (GIGER *et al.*, 1987), une protéase ou une délipidation (VAN SOEST et ROBERTSON, 1979 ; DORLEANS, 1986).

Cette première phase de mesure du NDF est en fait facultative et il est recommandé de débuter l'analyse au niveau de

sa deuxième étape qui correspond à une hydrolyse en milieu acide faible (H_2 SO_4 1N) en présence de CTAB (annexe A) pour déterminer la teneur en lignocellulose (LC) ou ADF (Acid Detergent Fibre) de l'aliment. Cette lignocellulose contient, en outre, une partie des substances pectiques et des matières azotées des aliments. La détermination de la lignine au détergent acide ou ADLignine s'effectue par une hydrolyse du résidu lignocellulose par de l'acide sulfurique concentré (annexe A).

Les teneurs en parois cellulaires (NDF), lignocellulose (ADF) et lignine VAN SOEST (ADL) des aliments concentrés ont été établies à l'aide de résultats obtenus sur 1 100 échantillons issus des analyses effectuées à la Station INRA de Nutrition et Alimentation de l'INA PG et complétée, pour environ 10 % des valeurs, par des résultats de laboratoires appliquant la même méthodologie. Celle-ci fait appel à l'emploi d'un appareil de dosage semi-automatique de type FIBERTEC (TECATOR Ltd) et enchaîne successivement les 3 analyses sur la même prise d'échantillon. Cette succession d'analyses aboutit à des teneurs en lignocellulose et ADLignine légèrement plus faibles, de 9 et 6 % respectivement, qu'avec la méthode directe (figures 3 et 4). La base de données évoquée a permis de calculer des équations de passage entre les teneurs en cellulose brute et en constituants de la paroi selon VAN SOEST pour les différentes familles de matières premières. Les équations concernant les principaux groupes d'aliments sont rapportées dans le tableau 2. Par cette approche, il a été possible de calculer pour les Tables des teneurs en paroi, lignocellulose et ADLignine qui soient cohérentes avec les teneurs en cellulose brute qui ont été obtenues par la démarche décrite au paragraphe 1. 1. Ces données actualisent et complètent les valeurs du tableau de composition proposées par SAUVANT (1981).

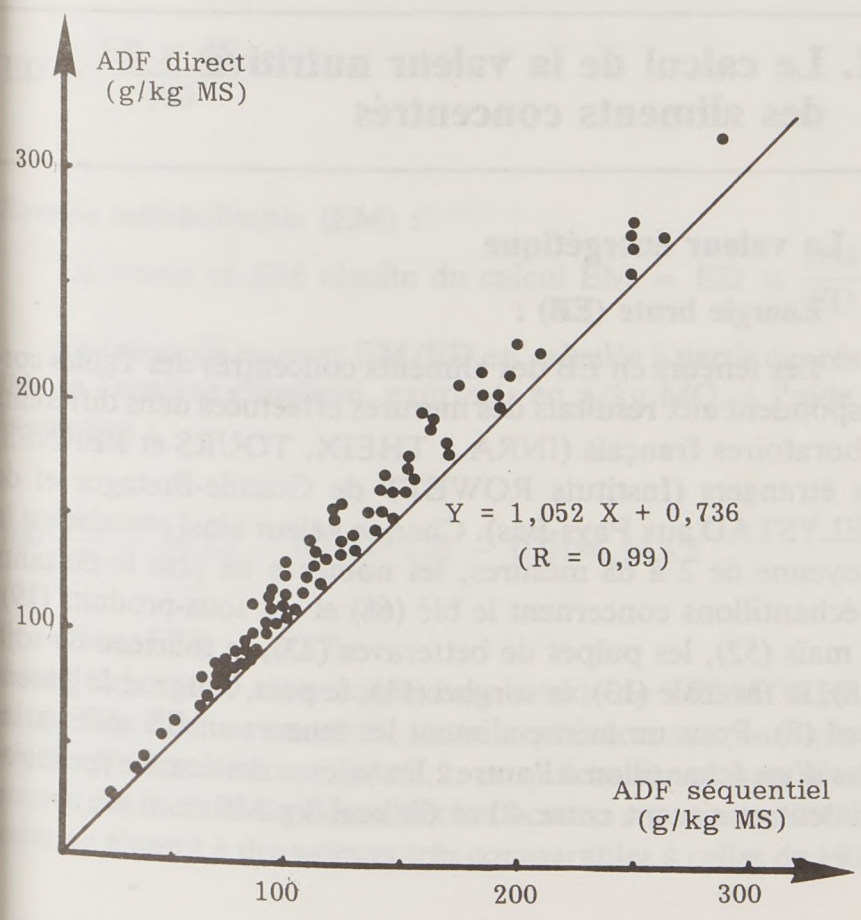


FIG. 3 : *Comparaison entre les teneurs en lignocellulose (ADF) directe et séquentielle sur 80 aliments concentrés.*

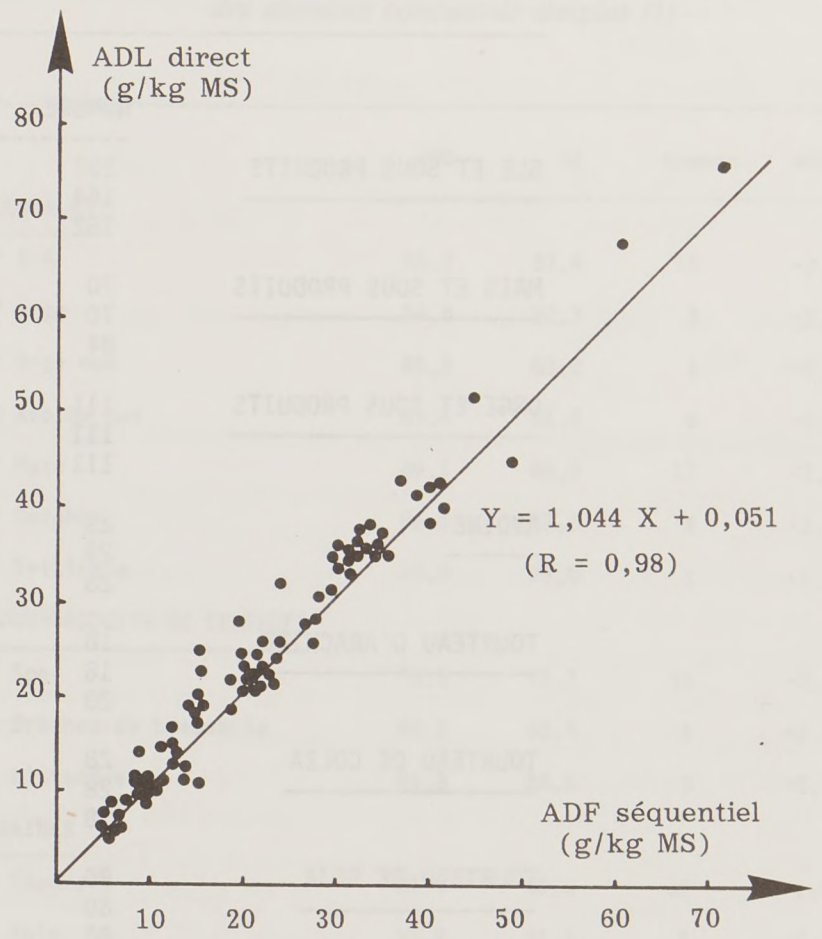


FIG. 4 : *Comparaison entre les teneurs en lignine VAN SOEST (ADL) directe et séquentielle sur 80 aliments concentrés.*

Différentes chaînes analytiques ont été organisées pour évaluer la répétabilité et la reproductibilité de la méthode VAN SOEST, le tableau 3 regroupe les principaux résultats fournis par ces chaînes.

2.2. Les constituants des contenus cellulaires.

Les Tables de composition des aliments concentrés comprennent également des valeurs des teneurs en glucides solubles et amidon des aliments. Ces valeurs ont été établies à partir du rassemblement et de la compilation d'informations de différentes origines :

- les résultats envoyés par les laboratoires de série (cf 1. 1.),
- les tableaux proposés par JARRIGE (1981) et THIVEND (1981),
- les tables INRA-monogastriques, danoises et hollandaises.

Pour les teneurs en amidon, l'essentiel des résultats a été obtenu avec la méthode classique d'EWERS. Cependant, l'emploi de la méthode enzymatique (THIVEND *et al.*, 1965) se développe. Cette méthode, plus spécifique, fournit des valeurs de teneur en amidon inférieures à celles de la méthode EWERS. Cette dernière présente un écart-type moyen de 2,2 % de la MS à partir de chaînes analytiques organisées par le BIPEA.

TABLEAU 2

Equation de prévision des teneurs en parois cellulaires (NDF) lignocellulose (ADF) et lignine VAN SOEST (ADL) à partir de la teneur en cellulose brute (teneur en % de la MS)

	NOMBRE	TENEUR PREDITE	REGRESSION CONSTANTE	REGRESSION COEFFICIENT	R^2	ETR
BLE ET SOUS PRODUITS	137	NDF	3,78	3,76	0,92	4,26
	144	ADF	0,22	1,24	0,96	0,92
	162	ADL	0,37	0,29	0,67	0,78
MAIS ET SOUS PRODUITS	70	NDF	3.40	3,49	0,89	4.30
	70	ADF	0,62	1.055	0,86	1,52
	84	ADL	0,39	0.10	0.30	0,51
ORGE ET SOUS PRODUITS	111	NDF	3,45	3,07	0,91	3,57
	111	ADF	-1,05	1.40	0,96	1,11
	111	ADL	-0.30	0,26	0,73	0,57
AVOINE	29	NDF	21.85	0,87	0,28	2,46
	29	ADF	8,38	0.58	0,31	1,54
	28	ADL	4,59	-0,14	0,09	0,77
TOURTEAU D'ARACHIDE	18	NDF	9,29	0,78	0,59	2,28
	18	ADF	3,08	0,95	0,79	1,71
	20	ADL	-0,01	0,36	0,45	1,31
TOURTEAU DE COLZA	28	NDF	8,42	1,69	0,34	5,41
	28	ADF	3,09	1,26	0.60	2,38
	28	ADL	-0,04	0,62	0,25	2,46
TOURTEAU DE SOJA	80	NDF	2,67	1,61	0,99	1,86
	80	ADF	0,27	1.20	0,99	1,73
	80	ADL	0,44	0,04	0,36	0,77
TOURTEAU DE TOURNESOL	24	NDF	8,29	1,29	0,96	3,72
	24	ADF	3,43	1,01	0,97	2,75
	24	ADL	-1,05	0,41	0,97	1,04
PULPES DE BETTERAVES	45	NDF	4,21	2,26	0,47	5,03
	45	ADF	3,83	1,02	0,89	0,75
	45	ADL	-0,12	0.10	0.16	0,49

TABLEAU 3

Valeurs observées des écarts-types inter- et intra-laboratoires

	CHAINE CEE 1980-1981 (1)	CHAINE GERNA 1980 (2)	CHAINE BIPEA 1980 à 1984 (3)
CELLULOSE BRUTE			
* Inter-Laboratoires		1,12	0.80
* Intra-Laboratoires		0,34	
PAROIS CELLULAIRES (NDF)			
* Inter-Laboratoires	1.79/2.11	2,71	2.40
* Intra-Laboratoires	0.53/0.31	0,98	
LIGNOCELLULOSE (ADF)			
* Inter-Laboratoires	0,88	1,16	1,43
* Intra-Laboratoires	0,28	0,49	
LIGNINE (ADL)			
* Inter-Laboratoires	0,37	1,06	0,56
* Intra-Laboratoires	0,17	0,38	
LIGNINE CHRISTIAN			
* Inter-Laboratoires	0,43		
* Intra-Laboratoires	0,25		

(1) 23 laboratoires pour 11 aliments, 16 laboratoires pour la lignine CHRISTIAN et 5 laboratoires pour la lignine VAN SOEST (ADL).
(2) 18 laboratoires pour 8 aliments.
(3) 23 échantillons pour les parois cellulaires (NDF) et 26 pour la lignocellulose (ADF) et la lignine VAN SOEST (ADL), avec 15 à 20 laboratoires par échantillon.

II. Le calcul de la valeur nutritive des aliments concentrés

1. La valeur énergétique

Energie brute (EB) :

Les teneurs en EB des aliments concentrés des Tables correspondent aux résultats des mesures effectuées dans différents laboratoires français (INRA à THEIX, TOURS et RENNES) ou étrangers (Instituts ROWETT de Grande-Bretagne et de LELYSTAD aux Pays-Bas). Chaque valeur ainsi obtenue est la moyenne de 2 à 68 mesures, les nombres les plus importants d'échantillons concernent le blé (68) et ses sous-produits (19), le maïs (52), les pulpes de betteraves (23), le tourteau de soja (18), la féverole (13), le sorgho (11), le pois, l'orge et le gluten-feed (8). Pour un même aliment les teneurs en EB sont variables d'un échantillon à l'autre : les valeurs des écarts-type intra-aliment se situent entre 40 et 60 kcal/kg MS.

En l'absence de résultats de mesure, la valeur EB (kcal/kg MS ou MO) a été calculée comme en 1978 à partir de la composition chimique, exprimée en g/kg MS ou MO à l'aide de l'équation de SCHIEMANN *et al.* (1971) :

EB = 5,72 MAT + 9,50 + MG + 4,79 CB + 4,17 ENA ±

Les coefficients de correction Δ proposés par les mêmes auteurs et rapportés par DEMARQUILLY *et al.* (1978) ont été appliqués dans la mesure où le nombre d'échantillons pris en compte les rendaient significativement différents de 0.

Digestibilité de la matière organique (dMO) :

Pour les aliments décrits en 1978, les valeurs de dMO ont été, le cas échéant, actualisées à l'aide de données expérimentales obtenues depuis. Mis à part les coques de soja (+ 12 points %), les modifications effectuées ont été de l'ordre de 1 à 2 points. Pour les nouveaux aliments, les valeurs dMO sont issues de résultats expérimentaux obtenus par l'INRA de THEIX (Laboratoire des Aliments) principalement mais également par l'Institut ROWETT de Grande-Bretagne, l'IEMVT-CIRAD et la Station INRA de l'INA-PG. Pour quelques aliments, en l'absence de données expérimentales, les valeurs de dMO ont été obtenues à partir des tables danoises ou hollandaises.

Digestibilité de l'énergie (dE) :

La valeur de dE de chaque aliment a été obtenue à partir de la dMO en additionnant ou en soustrayant un coefficient h de passage résultant des mesures effectuées à l'INRA (THEIX) au ROWETT ou à LELYSTAD : dE = dMO + h.

Le tableau 4 indique les valeurs mesurées du coefficient h pour les aliments concentrés. Pour les aliments ne figurant pas au tableau 4, la valeur de h a été prise égale à 1,6 correspondant à la valeur moyenne. Par rapport aux valeurs de h proposées en 1978, les principaux changements concernent la réévaluation des tourteaux ($h_{1978} = -2,0$ pour les tourteaux), la dévaluation, notable pour le blé et ses sous-produits, et plus faible pour les autres céréales ($h_{1978} = -1,3$ pour les céréales).

La teneur en énergie digestible (ED) indiquée dans les tableaux résulte du calcul :

$$ED = \frac{EB \times dE}{100}$$

Energie métabolisable (EM) :

La teneur en EM résulte du calcul $EM = ED \times \frac{EM}{ED}$

La valeur du rapport EM/ED est calculée à partir des résultats de l'analyse chimique, exprimés en g/kg MO, à l'aide de la relation :

$$100\,\frac{EM}{ED} = 86,82 - 0,0099\ CB - 0,0196\ MAT$$

(n = 346, ETR = 0,87)
dont l'élaboration est précisée dans le texte de VERMOREL *et al.* (1987) dans ce numéro ; cette expression suppose que le niveau d'alimentation est de 1,2, ce qui correspond au niveau moyen des mesures de digestibilité effectuées sur moutons. Cette relation aboutit à des valeurs très comparables à celles de 1978.

Energie nette (EN) :

La teneur en EN est le produit de l'EM par le rendement k. Les valeurs de k sont prédites à partir des rapports q = EM/EB des aliments à l'aide des mêmes équations qu'en 1978.

TABLEAU 4

Valeurs mesurées de la différence entre la digestibilité de la matière organique (dMO) et de l'énergie (dE) des aliments concentrés simples (1)

	dMO	dE	Nombre	dMO-dE
CEREALES				
* Blé	90,2	87,4	16	-2,8*
* Orge	84,6	82,3	3	-2,3
* Orge nue	85,8	83,2	1	-2,6
* Avoine nue	85,4	84,6	6	-0,8
* Maïs	89,1	86,9	17	-2,2
* Sorgho	86,4	83,3	4	-3,1
* Triticale	90,0	89,0	1	-1,0
SOUS-PRODUITS DE CEREALES				
* Son	76,5	73,7	16	-2,8*
* Drèches de brasserie	60,2	62,4	6	+2.2*
* Glutenfeed	84,8	84,1	3	-0,7*
GRAINES				
* Féverole	91,9	90,3	12	-1,6
* Pois	93,9	91,5	4	-2,4
* Lupin	89,8	88,0	2	-1,8
* Soja	81,2	82,2	2	+1.0
* Soja extrudé	78,3	77,2	1	-1,1
ENVELOPPES				
* Colza	56,3	57,5	3	+1.2*
* Féverole	60,7	57,0	1	-3,7
* Pois	84,7	82,3	2	-2,4
* Soja	82,6	79,5	2	-3,1
TOURTEAUX (3)				
* Arachide	83,1	86,9	2	+3.8*
* Colza	82,3	82,1	3	-0,2
* Soja	90,8	90,4	11	-0,4*lim
* Tournesol	64,3	63,6	4	-0,7
ALIMENTS DIVERS				
* Manioc	90,5	87,4	4	-3,1
* Mélasse (betteraves)	88,7	87,2	2	-1,5
* Mélasse (canne)	82,5	78,5	1	-4,0
* Pulpes de betteraves	87,7	84,3	17	-3,4*
* Pulpes d'agrumes	88,2	84,2	1	-4,0
* Pulpes de raisins	30,0	25,5	1	-4,5*
* Pulpes de tomates	56,7	45,9	1	-10,8*

(1) Sources : laboratoires des aliments (INRA Theix), du ROWETT Research Institute
(2) Signification par rapport à l'écart moyen dMO-dE = 1.6
(3) Pour les tourteaux, onpeut retenir qu'en moyenne dE = dMO

* = significatif

L'énergie nette pour la lactation (ENL) est égale à :
ENL (Mcal/kg MS) = EM (Mcal/kg MS) × kl
avec kl = 0.24 q + 0.463

La valeur énergétique nette de lactation, exprimée en UFL par kgMS est égale à ENL/1700

L'énergie nette pour l'entretien et la production de viande (ENEV) est égale à :
ENEV (Mcal/kg MS) = EM (Mcal/kg MS) × kmf

$$\text{avec kmf} = \frac{km \times kf \times NP}{kf + km \times (NP - 1)} = \frac{0.3358\ q^2 + 0.6508\ q + 0.005}{0.9235\ q + 0.283}$$

exprimée en UFV cette valeur énergétique est égale à : ENEV/1820

Comparaison des valeurs énergétiques proposées en 1978 et 1988

Pour l'ensemble des aliments concentrés présentés dans les Tables en 1978 et 1988, les valeurs énergétiques sont très corrélées et présentent la même moyenne d'ensemble. Cependant, les différentes modifications décrites ci-dessus ont abouti à quelques variations suffisamment importantes ou systématiques pour être signalées. Pour le groupe des céréales et de leurs sous-produits, les valeurs 1988 sont en général inférieures ou égales (0 à −0.04 UFL/MS) à celles de 1978 ; l'avoine (+0.03 UFL/MS), le glutenfeed (+0.06 UFL/MS) et surtout les drèches de brasserie (+0.08 UFL/MS) font exception dans ce groupe. Pour l'ensemble des tourteaux, les valeurs 1988 sont en général supérieures ou égales (0 à +0.10 UFL/MS) à celles de 1978, les exceptions sont représentées par les tourteaux de soja (−0.03 UFL/MS) et de germe de maïs (−0.02 UFL/MS). Les graines protéagineuses possèdent en moyenne la même valeur énergétique qu'en 1978 ; les graines oléagineuses évoluent plus sensiblement avec une baisse pour le soja (−0.08 UFL/MS) et un accroissement important pour le tournesol (+0.15 UFL/MS) et le colza (+0.17 UFL/MS). Parmis les autres aliments, il convient de souligner l'accroissement de +0.17 UFL/MS pour les coques de soja.

2. La valeur azotée

Les calculs des valeurs PDI (PDIN, PDIE et PDIA) des aliments concentrés sont effectués selon la méthode décrite par VERITE *et al.* (1987) dans ce numéro.

Les valeurs PDI exprimées en g/kg MS des aliments concentrés sont calculées à l'aide des relations :
PDIA = MAT × 1.11 × (1−DT) × drPIA
PDIN = PDIA + 0.576 MAT (1.11 × DT − 0.11)
PDIE = PDIA + 92.8 MOF
Avec :
- MAT en g/kg de MS = N × 6.25
- DT comprise entre 0 et 1 = Dégradabilité Théorique de l'azote dans le rumen
- drPIA comprise entre 0 et 1 = digestibilité réelle des protéines issues de l'aliment entrantes dans l'intestin grêle
- MOF en kg/kg de MS = Matières Organiques Fermentescibles dans le rumen.

Nous rappelons que :
- pour le calcul des PDIN le taux de captation de l'azote alimentaire dégradé est de 0.9 au lieu de 1 en 1978 et qu'il est de 0.8 au lieu de 1 pour les sources industrielles d'azote non protéique (urée, ammoniac),
- pour le calcul des PDIE, la MOF a été multipliée par 0.8 pour le maïs et par 0.7 pour le millet, le sorgho et le riz afin de tenir compte de la faible dégradabilité dans le rumen des amidons de ces aliments.

Le changement de critère de prédiction de la protéosynthèse à partir de l'énergie (145 g/kg MOF au lieu de 135 g/kg MOD) réduit d'une façon très variable selon l'aliment considéré la protéosynthèse ruminale permise par la dégradation de leur matière organique (figure 5). Cette baisse est peu marquée pour les céréales autres que les 4 citées ci-dessus, les graines protéagineuses et différents sous-produits (sous-produits du blé, pulpes d'agrumes, glutenfeed...). La baisse est plus importante, (0.6 à 0.8 fois) pour les tourteaux riches en protéines surtout si elles sont peu dégradables et pour les graines oléagineuses. Enfin la baisse est supérieure à 50 % pour les aliments riches en protéines faiblement dégradables tels que le glutenmeal, les farines de viande de poisson et de sang.

FIG. 5 : *Relation entre les teneurs en matière organique digestible (MOD) et fermentescible (1) dans le rumen (MOF) des principaux aliments concentrés simples et sous-produits.*

Ces différentes modifications des méthodes de mesures et de calcul, associées à l'évolution de la composition des matières premières, influencent en général peu les valeurs PDIN des aliments qui demeurent pour la plupart, à l'intérieur d'une fourchette de ± 10 % par rapport à celle de 1978. Les différen

TABLEAU 5

Valeurs de la dégradabilité théorique de l'azote dans le rumen (DT) et de la digestibilité réelle dans l'intestin (dr) des protéines non dégradées des principaux aliments concentrés simples

	DT	dr
CEREALES		
* Avoine	0,78	0,95
* Blé	0,74	0,95
* Maïs	0,42	0,95
* Orge	0,74	0,85
* Riz	0,42	0,95
* Seigle	0,78	0,95
* Sorgho	0,40	0,90
* Triticale	0,76	0,95
SOUS-PRODUITS DE CEREALES		
* Remoulages	0,76	0,95
* Son Fin	0,76	0,90
* Son Gros	0,76	0,75
* Drèches Maïs	0,50	0,85
* Glutenfeed	0,69	0,85
* Glutenmeal	0,27	0,90
* Soluble Maïs	0,70	0,85
* T.Germe Maïs	0,52	0,85
* Drèche Brasserie	0,45	0,85
GRAINES PROTEAGINEUSES ET OLEOPROTEAGINEUSES		
* Colza	0,90	0,60
* Féverole	0,86	0,60
* Lin	0,80	0,60
* Lupin	0,95	0,60
* Pois	0,90	0,80
* Soja	0,90	0,85
* Soja extrudée	0,49	0,85

	DT	dr
TOURTEAUX		
* Arachide	0,73	0,85
* Arachide traité	0,55	0,85
* Colza	0,71	0,8
* Colza Tanné	0,35	0,8
* Coprah	0,45	0,9
* Lin	0,62	0,85
* Palmiste	0,38	0,9
* Soja	0,62	0,9
* Soja Tanné,autoclavé	0,35	0,9
* Tournesol	0,77	0,85
ENVELOPPES		
* Colza	0,5	0,7
* Soja	0,54	0,7
* Tournesol	0,4	0,5
SOUS-PRODUITS DES FRUITS ET LEGUMES		
* Pulpes Agrumes	0,66	0,8
* Marc de Pomme	0,5	0,9
* Pulpes de raisin	0,15	0,25
* Pulpes de Tomates	0,55	0,8
FARINES ANIMALES		
* Poisson	0,45	0,85
* Viande	0,50	0,80

supérieures à ce seuil sont à attribuer essentiellement à des modifications de teneur en MAT, ce qui est le cas du tourteau de germes de maïs (14.6 versus 22.5 % de la MS) des graines de colza (21.7 versus 23.8 % de la MS).

Les modifications sont plus sensibles pour les valeurs PDIE des aliments (figure 6). Quelques-uns présentent un accroissement relatif supérieur à 10 % de leur valeur PDIE, il s'agit en particulier du tourteau de lin (+47 et +32 % pour le déshuilé et l'expeller respectivement), du glutenfeed (+20 %), des coques de soja (+17 %), du glutenmeal (+12 %). Une proportion plus importante d'aliments présente des baisses relatives de teneur en PDIE parfois très supérieures à 10 % ; il s'agit notamment des graines protéagineuses (pois : −34 %, féverole : −33 %, lupin : −48 %) et oléagineuses (colza : −70 %, soja : −61 %), de certains tourteaux (colza : −20 %, coton : −21 %, germe de maïs : −24 %, sésame : −24 %, tournesol : −15 %). On peut donc conclure à une baisse des valeurs PDIE de la plupart des matières premières concentrées riches en protéines.

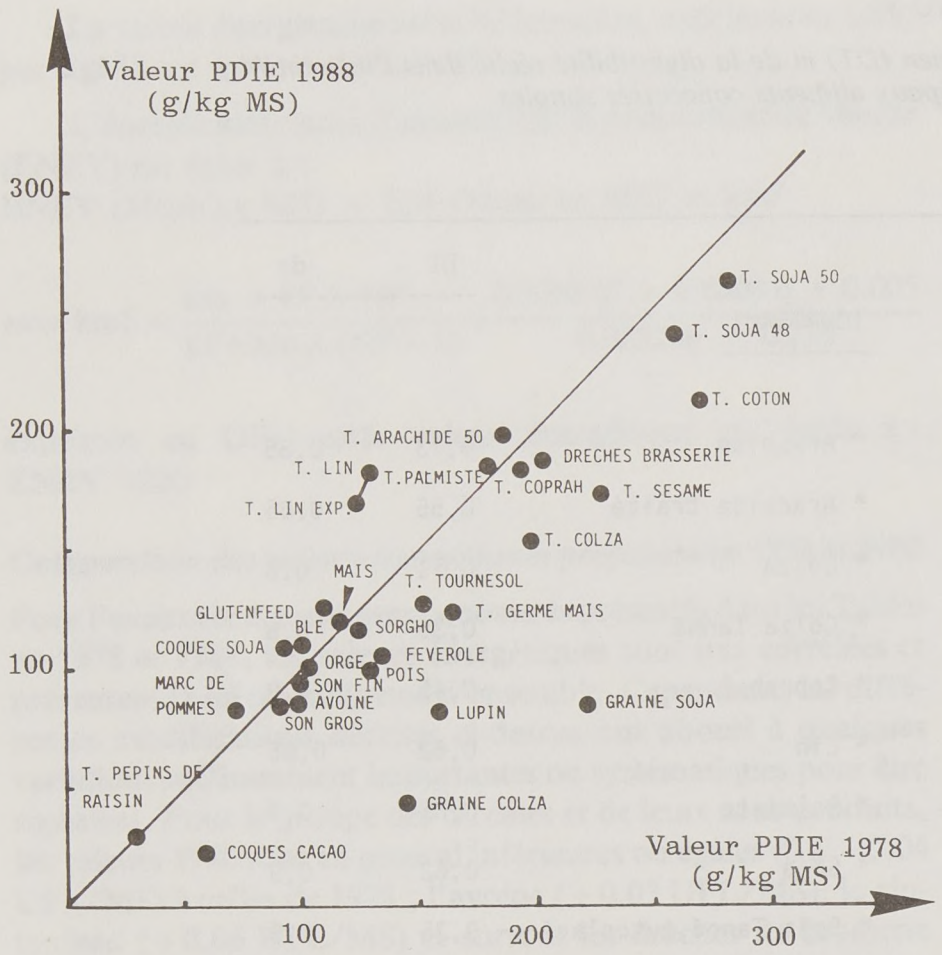


FIG. 6 : *Comparaison des valeurs PDIE en 1988 et 1978 des aliments concentrés simples.*

III. La prévision de la valeur nutritive des aliments concentrés simples à partir de l'analyse

1. La valeur énergétique

1.1. Les critères de prévision

- Les critères chimiques

Les paramètres analytiques classiques et l'analyse VAN SOEST évoqués dans la partie 1, ont été utilisés comme critère de prévision de la valeur énergétique. En outre, parmi les nombreuses méthodes connues de dosage de la lignine (GIGER, 1985), nous avons également retenu celle qui a été proposée par CHRISTIAN (1971), (annexe B). Cette méthode, qui a fait l'objet d'une chaîne analytique CEE (tableau 3), correspond approximativement à une inversion de l'ordre des attaques à l'acide sulfurique par rapport à celle de VAN SOEST. Ces deux méthodes ont fourni des résultats très corrélés pour les aliments composés étudiés (n = 80, R = 0,97), cependant, la teneur en lignine CHRISTIAN est de 28 % supérieure à celle de l'ADLignine obtenue par la voie directe.

- Les mesures de dégradabilité enzymatique à la cellulase

L'emploi de préparations enzymatiques (cellulases, hémicellulases) a été fréquemment appliqué pour prévoir la digestibilité des fourrages depuis le travail de DONEFER *et al.* (1963). Dans le cas des aliments concentrés les études spécifiques ont été plus rares ; en France, deux méthodes ont été développées à l'INRA. L'une, décrite en annexe C2, a été mise au point à Theix (AUFRERE, MICHALET-DOREAU, 1983) à partir d'une méthode appliquée aux fourrages (AUFRERE, 1982), l'autre (annexe C3) a été développée à l'INA-PG (CASTAGNA *et al.*, 1984) et améliorée par un accroissement du rapport enzyme/substrat (CASTAGNA, 1983).

Ces deux méthodes, de sigle d Cell T et d Cell I, fournissent des résultats très corrélés pour les aliments composés étudiés (n = 80, r = 0,89), cependant, la méthode de Theix dégrade sensiblement plus la MS des aliments (84,9 versus 78,4 %).

1.2. Les méthodes proposées

La prévision de la valeur énergétique des aliments concentrés simples met en jeu des méthodes différentes en fonction des résultats de l'analyse chimique.

Lorsque la composition est très comparable à celle de l'aliment correspondant cité dans les Tables, le calcul de la valeur énergétique se fait en appliquant la démarche analytique décrite au 2.1 aux résultats d'analyse en utilisant les coefficients de digestibilité indiqués dans les Tables.

Lorsque la composition est différente de celle des Tables il est souvent possible d'obtenir sa valeur énergétique par extrapolation. Pour faciliter ce travail le tableau 6 propose une série d'équations de prédiction applicables aux principaux groupes de matières premières. Dans le cas d'une matière première citée une seule fois dans les Tables, aucune extrapolation ne peut être effectuée ; une bonne estimation peut cependant être obtenue en appliquant aux valeurs des Tables, une correction de dMO de :

- − 0,58 point pour un accroissement de 10 g de cellulose brute par kg MS,
- − 0,46 point pour un accroissement de 10 g de lignocellulose par kg MS, (méthode directe),
- − 2,00 points pour un accroissement de 10 g de lignine CHRISTIAN par kg MS,
- − 2,79 points pour un accroissement de 10 g d'ADLignine (méthode directe) par kg MS,
- + 0,78 point pour un accroissement de 1 point de dégradabilité enzymatique (méthode INRA-INA PG),
- + 0,72 point pour un écart de 1 point de dégradabilité enzymatique (méthode INRA-THEIX).

La valeur de dMO la plus probable ainsi déterminée est à inclure dans la démarche des calculs décrite dans la partie 2.1.

2. Valeur azotée

Les teneurs en MAD et en PDI d'un aliment concentré simple dépendent directement de la teneur en MAT de cet aliment. Si cette dernière est différente de celle donnée dans les Tables 1988, les nouvelles teneurs en MAD et PDI peuvent être calculées de la façon suivante :

- pour les MAD, elles sont égales à la nouvelle teneur en MAT diminuée de la teneur en matières azotées non digestibles (MAND) de l'aliment des Tables.

$$\text{MAND tables} = \text{MAT tables} - \text{MAD tables}$$

- pour les PDI, les valeurs PDIA et PDIN étant proportionnelles à la teneur en MAT on les obtient donc par une simple règle de trois :

$$\text{nouvelles valeurs PDI} = \frac{\text{PDI tables} \times \text{nouvelles teneurs en MAT}}{\text{MAT tables}}$$

TABLEAU 6

Prévision de la valeur énergétique des principaux groupes d'aliments concentrés simples

	TYPE D'UF	CELLULOSE BRUTE		LIGNOCELLULOSE		PROTEINES BRUTES	
		REGRESSION CONSTANTE	COEFFICIENT	REGRESSION CONSTANTE	COEFFICIENT	REGRESSION CONSTANTE	COEFFICIENT
BLE ET SOUS-PRODUITS	UFL	1.30	-0,041	1,32	-0,034		
	UFV	1,33	-0,051	1,36	-0,042		
MAIS ET SOUS-PRODUITS	UFL	1,31	-0,021	1,32	-0.020		
	UFV	1,33	-0,025	1,34	-0,024		
ORGE ET SOUS-PRODUITS	UFL	1,28	-0,024	1,32	-0,027		
	UFV	1,27	-0.020	1,28	-0,022		
TOURTEAU DE SOJA	UFL	1.20	-0,005	1.20	-0,004	0.95	+0.004
	UFV	1,19	-0,006	1,19	-0,005	0.90	+0.005
TOURTEAU DE TOURNESOL	UFL	1,16	-0,016	1,22	-0,016	0.10	+0.018
	UFV	1,09	-0,017	1,14	-0,017	-0,01	+0.018

Quant à la nouvelle teneur en PDIE, on l'obtient, avec une erreur très minime, en modifiant la teneur en PDIE des Tables de la différence entre la nouvelle valeur PDIA et celle des Tables.

Pour les matières premières ne figurant pas dans les Tables ou pour mettre en évidence des différences entre lots d'une même matière première notamment selon le traitement technologique subi, il est nécessaire d'effectuer par la méthode analytique le calcul des PDI. Il faut pour cela mesurer la dégradabilité théorique (DT) par la méthode in sacco. Cette méthode est longue, très onéreuse et ne peut être réalisée que par un petit nombre de laboratoires de référence. Aussi a-t-on cherché à estimer la DT à partir de méthodes de laboratoire.

En 1978, la solubilité dans un tampon salive artificielle (DURAND, 1978) était utilisée pour estimer la fermentescibilité. La liaison entre la solubilité et la DT a été étudiée pour 87 échantillons (correspondant à 31 matières premières) dont la DT avait été mesurée in sacco. La liaison entre la DT et la solubilité n'est pas linéaire et la prévision de la DT à partir de la solubilité est faible (ETR = 9,1).

Aussi a-t-on cherché à reproduire plus fidèlement l'activité microbienne du rumen en utilisant des préparations enzymatiques protéolytiques. La méthode enzymatique retenue (J. AUFRERE et D. CARTAILLER, résultats non publiés) est décrite dans l'annexe C1. Elle permet de prendre en compte les deux mécanismes responsables de la dégradation de l'azote de l'aliment dans le rumen, qui sont la solubilisation de la fraction azotée soluble et l'attaque de la fraction azotée insoluble par les microorganismes.

Cette méthode a été appliquée aux 87 aliments utilisés précédemment. Pour ces 87 aliments, 8 points de cinétique répartis entre 0 et 48 heures ont été effectués, mais seuls deux points de cinétique (1 et 24 heures) ont été retenus dans la méthode définitive.

La dégradabilité enzymatique présente une bonne corrélation avec la DT (R = 0,90 n = 87), mais l'écart-type reste élevé (ETR = 7,0) bien qu'inférieur à celui obtenu en utilisant la solubilité.

L'écart-type élevé est dû au fait que, pour une même dégradabilité enzymatique ou une même solubilité, la DT est différente suivant la nature des matières premières. Si les 31 matières premières sont regroupées en 11 classes (tourteaux de soja, tourteaux de colza, tourteaux de tournesol, tourteaux traités, autres tourteaux, céréales et leurs sous-produits à l'exception du maïs, maïs et ses sous-produits, graines oléagineuses et protéagineuses, enveloppes de protéagineux et protéagineux traités, luzernes déshydratées, farines de viande et de poisson) la prévision devient beaucoup plus précise et reste encore meilleure pour la dégradabilité enzymatique (ETR = 4,1) que pour la solubilité (ETR = 5,1).

Discussion et conclusion

Les connaissances acquises depuis 1978 ou 1981 sur la composition et l'utilisation des aliments concentrés ont permis d'actualiser les tables de référence et les méthodes de prévision des valeurs énergétiques et azotées des aliments concentrés et sous-produits assimilés.

Dans le domaine de l'énergie, outre les actualisations de quelques valeurs d'EB et de dMO, un aspect important concerne les modifications de hiérarchie entre les tourteaux et les céréales et leurs sous-produits au profit des premiers. Cette modification résulte généralement de celle des coefficients de passage de la dMO à la dE. Pour la prévision de la valeur énergétique des matières premières, la démarche proposée est comparable à celle de 1978 ; cependant, elle est plus précise en raison du plus grand nombre d'aliments référencés et de méthodes d'interpolations plus fiables. Pour les aliments composés, une méthode de prévision est en préparation. Elle sera publiée très prochainement dans ''Productions Animales''.

Dans le domaine de l'azote, les valeurs PDIE des matières premières ont sensiblement évolué, en rapport notamment avec les nouvelles méthodes d'estimation de la dégradabilité des matières azotées et de la matière organique dans le rumen. La mesure de la dégradabilité *in sacco* de l'azote est la méthode de référence pratiquée dans un nombre limité de laboratoires harmonisés entre eux. Pour les analyses de routine, la mesure de la solubilité a montré son intérêt mais aussi ses limites ; elle doit donc être remplacée par une mesure de dégradabilité enzymatique. Dans un très proche avenir, cette méthode permettra d'obtenir en routine une bonne évaluation des valeurs PDI d'un aliment concentré simple ou composé.

Références bibliographiques

AUFRERE J., 1982. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. Ann. Zootech., 31, 111-130.

AUFRERE J., MICHALET-DOREAU B., 1983. In vivo digestibility and prediction of digestibility of some by-products in : "Feeding value of by-products and their use by beef cattle". EEC Seminar, 26-29 September 1983. Melle-Gontrode, Belgium.

CASTAGNA A., 1983. La prévision de la valeur nutritive énergétique des aliments par mesure de dégradabilité enzymatique. Thèse de Docteur-Ingénieur, Institut National Agronomique Paris-Grignon.

CASTAGNA A., SAUVANT D., DORLEANS M., GIGER S., 1984. Etude de la dégradabilité enzymatique des aliments concentrés et sous-produits. Ann. Zootech., 33 (3), 265-290.

CHRISTIAN K., 1971. Detergent method for total lignin in herbage. Fld. Stu. Rec. Div. Pl. Ind. CSIRO (Australia), 10, 29-34.

DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., SAUVANT D., 1978. Chapitre 16, composition et valeur nutritive des aliments, in : "L'Alimentation des ruminants" INRA 1978, Ed INRA Publications, Versailles.

DONEFER E., NIEMANN P.J., CRAMPTON E.W., LLYOD L.E., 1963. Dry matter disappearance by enzyme and aqueous solutions to predict the nutritive value of forages. J. Dairy Sci., 46, 965-970.

GIGER S., 1985. Revue sur les méthodes de dosage de la lignine utilisées en alimentation animale. Ann. Zootech., 34, 85-122.

GIGER S., POCHET S., 1987. Méthodes d'estimation des constituants pariétaux dans les aliments destinés aux ruminants. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70.

GIGER S., THIVEND P., SAUVANT D., DOREAU M., JOURNAIX P., 1987. Etude de l'influence préalable de différents enzymes amylolytiques sur la teneur en NDF d'aliments du bétail. Ann. Zootech., 36, 39-48.

JARRIGE R., 1981. Constituants glucidiques des fourrages : variations, digestibilité et dosage, p 13-40, in : "Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants" ed DEMARQUILLY, INRA Publications, route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

NEHRING K., 1966. Rohfaser oder Rohzellulose, Ein Beitrag zur Entwicklung der weender FutterMittelanalyse. Arch. Tierernähr., 16, 77-102.

NEHRING K., BRAUN L., 1961. Cité par BECKER et NEHRING, in "Handbuch der Futtermittel, ed PAREY, Hamburg, Berlin.

RRI Report, 1981. ROWETT RESEARCH INSTITUTE, Feedingstuffs Evaluation Unit, third Report, Department of Agriculture and Fisheries for Scotland.

SAUVANT D., 1976. Statistical methods for studying the variations of the feed analytical profiles of data bank. 39-44, in proceeding of 1st Symposium "Feed composition, Animal Nutrient Requirements and Computerization of Diets", Logan, USA.

SAUVANT D, 1981. Prévision de la valeur énergétique des aliments concentrés et composés pour les ruminants. p. 237-258, in "Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants" Ed DEMARQUILLY, INRA publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

SAUVANT D., MICHALET-DOREAU, 1988. Les aliments concentrés. In : R. JARRIGE Ed "Alimentation des bovins, ovins et caprins" INRA publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

SCHIEMANN R., JENTSCH W., WITTENBURG H., 1971. Zur Abhängigkeit der verdaulichkeit der Energie und Nührstoffe von der Höhe der Futteraufmahme und der Rations zusammentsetzung bei Milchkühen. Arch. Tierernähr., 21, 223-240.

Tables Hollandaises : Central Veevoederbureau in Nederland ; Veevodentabel (Runderweg 6, Leylystad).

Tables INRA Monogastriques, 1984. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. INRA Paris.

THIVEND P., 1981. Les constituants glucidiques des aliments concentrés et sous-produits. p. 219-236, in : "Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants" ed DEMARQUILLY, INRA publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

THIVEND P., MERCIER Ch., GUILBOT A., 1965. Dosage de l'amidon dans les milieux complexes. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., 5 513-526.

VAN SOEST P.J., ROBERTSON J.B., 1979. The detergent system of analysis and its application to human foods. In : "EEC Dietary fiber group" 1-29, Ottawa (Canada).

VAN SOEST P.J., WINE, 1967. Use of detergents in the analysis of fibranes feeds, IV, determination of plant cell wall constituents. J. Assoc Off. Acad. Chem., 50, 50-55.

VERITE R., SAUVANT D., 1981. Prévision de la valeur nutritive azotée des aliments concentrés pour les ruminants. p. 279-296, in : "Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants" ed DEMARQUILLY, INRA publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

VERITE R., MICHALET-DOREAU B., CHAPOUTOT P., PEYRAUD J.L., PONCET C., 1987. Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI). Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, (70)

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du système des unités fourragères (UF). Bull. Tech. CRZV Theix, INRA (70).

VERMOREL M., SAUVANT D., MICHALET-DOREAU B., 1986 Valeur énergétique des matières grases dans la ration des vaches laitières. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 66, 67-73.

ANNEXE A

DESCRIPTION DU DOSAGE DE LA LIGNOCELLULOSE ET DE LA LIGNINE SELON VAN SOEST

Principe

Ce descriptif permet une détermination de la fraction lignocellulosique (ADF) et de la fraction lignine (ADL) selon le schéma de la méthode VAN SOEST adaptée au Fibertec.

Les réactifs :

1. La solution ADS (Acid Detergent Solution)
   Peser 20 g de bromure de cétyltriméthylammonium (CTAB), les dissoudre dans environ 1/2 l de solution d'acide sulfurique 1 N. Ajuster à un volume de 1 litre avec cette solution après dissolution.

2. Acide sulfurique à 72 %
   Préparer une solution d'acide sulfurique de densité 1.634 à 20°C ou 24 N.

Mode opératoire

1. La délipidation
   La délipidation intervient dès que la quantité de lipides excède 7 %. Peser 1 g de produit à analyser dans un creuset de porosité 2. Procéder à l'extraction des lipides sur une rampe BBS ou similaire avec l'éthyl-éther pendant 6 h. Laisser sécher une nuit à température ambiante avant de procéder aux autres traitements.

2. Hydrolyse ADF
   Placer les creusets sur le Fibertec. Introduire 100 ml de réactif ADS et porter à l'ébullition pendant une heure précisément. Filtrer. Rincer cinq fois avec de l'eau distillée à 90°C. Rincer à l'acétone sur une fiole à vide en remettant les particules en suspension à la spatule. Sécher pendant 16-17 h à 103°C. Peser après refroidissement en dessicateur.

Remarques : pour éviter la formation de mousse, dès le début de l'ébullition, baisser un peu le chauffage et remettre au maximum après la disparition de ces dernières.

3. Hydrolyse ADLignine
   Dans un cristallisoir, placer les creusets. Recouvrir le résidu ADF avec de l'acide sulfurique à 72 % jusqu'à 2 à 3 mm du bord du creuset. Le laisser s'imprégner de la solution pendant environ 10 mn, puis mettre les particules en suspension à l'aide d'un agitateur en verre. Laisser agir une heure à température ambiante. Recommencer l'opération toutes les heures pendant trois heures.
   Filtrer le résidu ADL sur une fiole à vide. Neutraliser avec de l'eau distillée chaude. Vérifier la neutralité au papier pH.
   Placer les creusets à l'étuve à 103° C pendant 16 - 17 h. Peser après refroidissement en dessicateur.

Calculs

Pe : prise d'essai (exprimée en g de matière sèche)
P1 : pesée après hydrolyse ADF
P2 : pesée après hydrolyse ADL
P3 : pesée après minéralisation de l'ADF
P4 : pesée après minéralisation de l'ADL

$$ADF = \frac{P1 - P3}{Pe} \times 100$$

$$ADL = \frac{P2 - P4}{Pe} \times 100$$

Nettoyage des creusets :
Il est indispensable de nettoyer les creusets. Vider les creusets, les laver à l'eau du robinet et les faire bien égoutter. Les placer dans un cristallisoir à l'envers et remplir les fonds avec de l'acide nitrique concentré. Laisser agir une nuit. Eliminer l'acide éventuellement restant, laver les creusets à l'eau du robinet puis à l'eau distillée chaude à l'envers sur une trompe à vide.

ANNEXE B

DOSAGE DE LA LIGNINE PAR LA MÉTHODE DE CHRISTIAN SEMI-AUTOMATISÉE SUR FIBERTEC MANUEL

Principe

L'échantillon subit une hydrolyse à l'acide sulfurique concentré à température ambiante puis une extraction à reflux avec détergent en milieu acide, qui éliminent l'essentiel du contenu cytoplasmique et des glucides pariétaux. Le résidu obtenu est corrigé par sa teneur en matières minérales déterminée par calcination, et est appelé "résidu lignine CHRISTIAN".

Matériel :

FIBERTEC manuel (TECATOR : 2, rue de l'Oratoire 75001 - PARIS), Bain-marie (25° C), Béchers pyrex (50 ml), Creusets filtrants pour Fibertec (porosité 3), Etuve universelle (103° C), Four à minéraliser (550° C).

Réactifs :

* Acide sulfurique 72 % (d = 1.634)
  Acide sulfurique pur (Prolabo 20 700 323)
  Eau distillée
  Pour 5 l de solution, verser 1500 ml d'eau puis 3500 ml d'acide dans un bécher en plastique thermorésistant de 5 l plongé dans un courant d'eau froide. Homogénéiser longuement. Ajuster à la densité de 1,634 après refroidissement à 20° C (densimètre pour liquide lourd). Stocker à température ambiante. Filtrer avant emploi (verre fritté porosité 3). Préparation dangereuse en raison du caractère fortement exothermique de la réaction.
* Solution détergente (CTAB 2 % (P/V)
  CetylTriméthylAmmoniumBromure (C.T.A.B.) (Merck 2342)
  N-octanol (Prolabo 20 850 296)
  Eau distillée
  Pour 5 l de solution, dissoudre 100 g de CTAB dans 1 litre d'eau distillée et à chaud. Ajuster à 5 l après refroidissement (fiole jaugée, antimousse n-octanol). Stocker à 5° C. Redissoudre soigneusement à chaud avant utilisation (bain d'eau chaude). Filtrer avant emploi (filtre papier).

Mode opératoire

Préparation des échantillons :

Séchage des échantillons à humidité supérieure à 10 % : lyophilisation ou séchage en étuve (température inférieure à 60° C)

Broyage : homogène, sans augmentation excessive de la température de l'échantillon. Pas de refus sur un tamis de 0,8 mm pour les fourrages, 1 mm pour les aliments concentrés.

Détermination de la teneur en matière sèche :

Elle doit être déterminée en double pour chaque échantillon et simultanément à la prise d'essai pour l'analyse.

Peser 1 g environ exactement (soit PEF) dans un cristallisoir pyrex préalablement séché à 103° C pendant 16 h et taré après 30 mn en dessicateur. Soit T. Sécher et peser (103 C/16 h/30 mn). Soit P. (MS) = (P - T) 100/PEF

Prise d'essai pour l'analyse :

En double par échantillon. Après avoir soigneusement homogénéisé l'échantillon, peser dans un bécher, environ exactement au dixième de mg, 1 à 2 g d'échantillon (suivant sa teneur en lignine). Soit PEF.

Hydrolyse acide :

Ajouter 20 ml d'acide sulfurique 72 %, par fraction de 5 ml. Homogénéiser après chaque ajout d'acide jusqu'à obtenir une pâte lisse (agitateur de verre à extrémité aplatie). Décoller soigneusement les particules collées dans le fond du bécher (agitateur de verre à extrémité effilée). Mettre au bain-marie à 25° C pendant 60 mn. Homogénéiser aux temps 5 mn, 15 mn, 30 mn et 45 mn.

Extraction au détergent :

Fixer les creusets filtrants sur le Fibertec. Transvaser quantitativement le contenu de chaque bécher dans la colonne correspondante en le diluant avec 100 ml de détergent préchauffé. Amener à ébullition. Ajouter 100 ml de détergent chaud. Compter 2 heures d'hydrolyse à partir de la reprise de l'ébullition. Réduire légèrement l'intensité du chauffage tout en maintenant l'ébullition. Filtrer entièrement le détergent. Rincer ensuite successivement chaque résidu avec un total d'environ 600 ml d'eau bouillante par fraction de 20-30 ml en remettant en suspension le résidu entre chaque rinçage. Récupérer quantitativement le résidu dans le creuset. Filtrer à sec.

Séchage et minéralisation :

Présécher pendant quelques heures (étude à vaisselle), puis sécher à 103° C jusqu'à poids constant (environ 16 h) et peser après 30 mn de refroidissement en dessicateur (desséchant efficace). Soit P1.

Minéraliser à 550° C maximum jusqu'à poids constant et peser après 60 mn en dessicateur. Soit P2. Manipuler les creusets à l'aide d'une pince, en procédant dans le même ordre pour P1 et P2, opérer par série de 6 creusets.

Calculs

Prise d'Essai Sèche	PES = PEF * MS/100
Poids de Lignine Déminéralisée	PLD = P2 - P1
Teneur en Lignine Déminéralisée	LD % = PLD *100/PES
Moyenne et écart entre les doubles	LD moy. = (LD1 + LD2)/2
	LD éc. = (LD1 -LD2)
	LD éc. % = (LDéc./LDmoy.) * 100

Le "PLD" doit être supérieur à 10 mg, sinon augmenter la prise d'essai (manque de sensibilité).

Le "(LD éc. %)" doit être inférieur à 10 %, sinon recommencer l'analyse.

Si l'erreur est toujours trop importante après répétition, améliorer :

1) l'homogénéité de la prise d'essai (broyage ou échantillonnage), 2) la technique (mauvaise destruction des agrégats lors de l'hydrolyse acide, pertes ou gains de particules lors des différentes opérations, rinçages insuffisants, etc)

Nettoyage des creusets :

Enlever la plus grande partie des matières minérales résiduelles avec un pinceau. Rincer une première fois à l'envers à l'eau du robinet (100 ml par creuset environ). Faire tremper une nuit dans un mélange sulfochromique (faire pénétrer dans la plaque en verre fritté). Filtrer, rincer sous vide avec une grande quantité d'eau chaude (500 ml), creuset à l'endroit puis à l'envers. Finir à l'eau distillée. Sécher, stocker à l'abri de la poussière.

Extrait de POCHET et DANNE (1987) : "Méthode détaillée du dosage de la lignine par la méthode de CHRISTIAN semi-automatisée sur Fibertec manuel". Document interne laboratoire de la Digestion. INRA-CRZV - Theix - 63122 - CEYRAT

ANNEXE C 1

DÉGRADABILITÉ DE L'AZOTE PAR UNE MÉTHODE ENZYMATIQUE

Principe

L'échantillon subit une hydrolyse par une protéase dans un tampon borate-phosphate pH 8 aux temps 1 h et 24 h. Le dosage de l'azote dégradé est effectué sur le surnageant par la méthode Kjeldhal.

Réactifs :

. tampon Borate phosphate pH 8
($Na\ H_2\ PO_4\ 2H_2\ O$ Prolabo n° 28015.294 12,2 g/l
$Na_2\ B_4\ O_7\ 10H_2\ O$ Prolabo n° 27727.297 8,51 g/l)

. Solution enzymatique
- Protéase extraite de Streptomyces Griseus (Type XIV, Sigma n° P-5147)
  200 mg d'enzyme pour 100 ml de tampon borate-phosphate pH 8.
  Filtrer la solution enzymatique obtenue (filtres Whatman n° 41)
  La solution doit être préparée extemporanément.

. Tétracycline (antibiotique) Sigma n° T-3258
- 10 mg pour 100 ml de tampon borate-phosphate

. Nystatine (antifongique) (Sigma n° N-3503)
- La nystatine est pesée directement.

. Préparation enzymatique (pour 500 mg d'échantillon)
- 0,5 ml de solution enzymatique (1 mg/500 mg échantillon)
- 0,5 ml de solution de tétracycline (0,05 mg/500 mg échantillon)
- 0,5 mg de nystatine (0,5 mg/500 mg échantillon)
- Compléter à 50 ml avec du tampon borate-phosphate pH 8.

Mode opératoire

Pour chaque échantillon les mesures sont réalisées en triple au temps 1 h et 24 h.
Un témoin (luzerne déshydratée) est introduit dans chaque série (temps 1 h et 24 h).
Deux tubes sans échantillon sont ajoutés (ce sont les blancs, incubation 24 h). Ils permettent de connaître la teneur en azote de la préparation enzymatique.

Peser exactement environ 500 mg d'échantillon broyé à la grille de 0,8 mm dans un tube à centrifuger (Parallélement effectuer une matière sèche en double 48 h à 103°C).

Ajouter à chaque tube 50 ml de préparation enzymatique à 40°.
Mettre au bain-marie à 40°.
Les tubes sont agités manuellement toutes les heures.

A chaque temps (1 h et/ou 24 h) l'échantillon est centrifugé (5 mn à 3000 tours/mn) puis filtré (filtres plissés 2 B Durieux préalablement humidifiés avec de l'eau distillée). Rincer le tube avec de l'eau distillée ainsi que l'entonnoir après avoir enlevé le filtre.
Le dosage de l'azote est effectué sur le surnageant par la méthode de Kjeldhal.

Calcul

Les valeurs d'azote sont rapportées à la teneur en azote total.

Valeur d'azote dégradé :

$$\text{teneur en azote \% du surnageant} = \frac{\text{Poids moléculaire de l'N x normalité de l'acide x (nombre de ml d'acide - blanc ml)}}{\text{Prise d'essai en \% MS}}$$

La valeur du blanc peut être prise à 0,250 ml si on utilise du HCl 0,05 N

$$\text{N dégradé en \% N total} = \frac{\text{teneur en N \% du surnageant}}{\text{teneur en N \% de l'aliment}} \times 100$$

Correction par le témoin :

$$\frac{\text{N dégradé en \% N total x valeur du témoin}}{\text{valeur du témoin de la série}}$$

Exemple :

$$\frac{14 \times 0,05 \times (25,10 - 0,250)}{0,4789} = 36,32\ \%$$

$$\text{N dégradé en \% N total} : \frac{36,32}{0,850} \times 100 = 42,73\ \%$$

$$\text{Correction par le témoin} : \frac{42,73 \times 36,50}{37,04} = 42,10\ \%$$

N.B. Le témoin luzerne déshydratée ne peut être utilisé pour des aliments très rapidement dégradables (ex. : lupin, pois, féverole,...) ; dans ce cas il faudra prendre un autre témoin.

ANNEXE C2

DIGESTIBILITÉ DES ALIMENTS CONCENTRÉS ET DES FOURRAGES PAR UNE MÉTHODE À LA PEPSINE-CELLULASE

Principe

L'échantillon subit deux attaques successives par deux enzymes diluées dans des tampons appropriés :
- un pré-traitement par la pepsine en milieu acide chlorhydrique 0,1 N
- un traitement par la cellulase dans un tampon acétate de sodium 0,05 M, pH 4,6.

Réactifs :

. HCl 0,1 N
(HCl Prolabo n° 20 252 290 - 8,097 ml/l)
. Acétate de sodium 0,05 M pH 4,6
(CH_3COONa, $3H_2O$ Prolabo n° 27 652 298 - 6,8040 g/l)
. Pepsine
Pepsine (Merck n° 7190, 200 FIP. U/g
2 g de pepsine dans 1 litre d'HCl 0,1 N
. Cellulase
Cellulase "Onozuka R10" extraite de Trichoderma viride (Medicine Department Yakult Honsha Co LTD No 1-19, 1-Chome, Higashi-Shinbashi, Minato-Ku, TOKYO, 105 Japan)
1 g/l de tampon acétate Na.

Mode opératoire

Les traitements ont lieu dans des creusets de 90 ml (hauteur 12,5 cm, diamètre 3 cm) munis d'un filtre en verre fritté de porosité 2. Les creusets sont agités régulièrement 2 à 3 fois par jour.

. Peser 500 mg d'échantillon broyé à la grille de 0,8 mm, dans chaque creuset.
Toutes les déterminations sont effectuées en triple.

Parallèlement déterminer la teneur en matière sèche (48 h à 103°C) ainsi que la teneur en cendres (5 h à 550°C) pour chaque échantillon.

Un échantillon témoin sera également introduit dans chaque série pour permettre d'estimer les différences entre les séries.

1) Introduire dans chaque creuset 50 ml de mélange pepsine-HCl 0,1 N à 40°.
Fermer avec un bouchon. Placer les creusets 24 h au bain-marie à 40°, après agitation.

Au bout de 24 heures :
2) - Effectuer une hydrolyse acide en plaçant les creusets 30 mn exactement dans un bain-marie à 80°C.
- Filtrer rapidement les creusets et rincer individuellement chaque creuset avec environ 300 ml d'eau distillée.
3) Introduire dans chaque creuset 50 ml de préparation cellulasique dans le tampon acétate de Na 0,05 M, pH 4,6. Placer les creusets 24 h au bain-marie à 40°C, après agitation.

Au bout de 24 h :
- Filtrer chaque creuset. Rincer le résidu avec environ 300 ml d'eau distillée.
- Sécher les creusets 48 h à 103°C et les peser.
- Minéraliser les creusets 5 h à 550°C et les peser.

Calculs

E(MS) : prise d'essai en MS
E(MO) : prise d'essai en MO
Dcell MS : digestibilité de la matière sèche
Dcell MO : digestibilité de la matière organique
Po : poids du creuset vide
P1 : poids du creuset + résidu en MS
P2 : poids du creuset + résidu cendres

$$\text{Dcell MS} = \frac{E(MS) - (P1 - Po)}{E(MS)} \times 100$$

$$\text{Dcell MO} = \frac{E(MO) - (P1 - P2)}{E(MO)} \times 100$$

Correction par le témoin :

$$\frac{\text{Dcell témoin} \times \text{Dcell échantillon}}{\text{Dcell témoin de la série}} = \text{Dcell corrigée de l'échantillon}$$

N.B. Les échantillons doivent être broyés à la grille de 0,8 mm.
Pour les concentrés, il est recommandé de travailler sur des échantillons non séchés.
Pour les fourrages, la température de séchage ne doit pas dépasser 60°C.

ANNEXE C3

DESCRIPTION DE LA MÉTHODE DE DÉGRADABILITÉ ENZYMATIQUE DES ALIMENTS CONCENTRÉS (appliquée à l'INA-PG)

Principe

Réactifs :

1. Préparations enzymatiques :
   - mélange glucolytique :
     . une amylase (Sigma A 1278, type X1A) de bacillus species, utilisée en solution à 1,6 g/l
     . une cellulase (Sigma 7377, type I) d'Aspergillus niger, utilisée en solution à 3,0 g/l
     . une cellulase (Novo Industrie SP 122) utilisée en solution à 2,0 g/l
     . une cellulase (Novo Industrie SP 129) utilisée en solution à 4,0 g/l.

Ces enzymes sont dissoutes dans un tampon acide acétique - acétate de sodium, pH 4,7.

   - préparation protéolytique :
     . une pepsine Sigma (P 7012) utilisée à 39°C, à une concentration de 2,0 g/l dans la solution chlorhydrique.

2. Solutions minérales :
   - Tampon acide acétique - acétate de sodium
     Cette solution 0,05 M est obtenue en mélangeant 6,8 g d'acétate de Na (CH_3 COONa, 3 H_2O - Prolabo n° 27552298) et 2,9 ml d'acide acétique concentré dans un litre d'eau distillée.
     Vérifier le pH à 4,7.
   - Solution chlorhydrique : 51,6 ml HCl concentré/l.

Mode opératoire

1. Peser 500 mg d'échantillon dans un tube à centrifuger de 100 ml.
2. a) Empesage à 70°C pendant 10 mn dans 25 ml d'eau distillée.
   b) Refroidissement à température ambiante.
3. a) Adjonction de 25 ml de la préparation enzymatique glucolytique. Bouchage des tubes.
   b) Agitation lente : une fois avant incubation et deux fois pendant incubation.
   c) Incubation dans un bain-marie thermostaté à 39 ± 1°C pendant 24 heures.
4. a) Centifugation de 10 mn à 3000 tours, après avoir complété à 100 ml avec de l'eau chaude (80°C)
   b) Prélèvement du surnageant.
5. a) Adjonction de 50 ml de la solution pepsine-chlorhydrique. Bouchage des tubes.
   b) Agitation lente avant incubation
   c) Incubation des tubes pendant 4 heures à 39°C.
6. a) Centrifugation de 10 mn à 3000 tours.
   b) Filtration sur un creuset de verre fritté (porosité 2)
   c) Nettoyage du résidu à l'eau chaude, jusqu'à neutralisation vérifiée au papier pH.
7. a) Séchage au four à 103°C pendant 8 heures au moins. Pesée.
   b) Minéralisation au four, 550°C pendant 3 heures. Pesée.

Calculs

Les résultats de dégradabilité sont exprimés en matière sèche par rapport à l'échantillon de départ :

$$DEMS = \left(1 - \frac{MSr - MMr)}{MSe}\right) \times 100$$

$$DEMO = \left(1 - \frac{MSr - MMr)}{MSe - MMe}\right) \times 100$$

DEMS : dégradabilité enzymatique de la matière sèche (%)
DEMO : dégradabilité enzymatique de la matière organique (MO), en %
MSe : quantité de matière sèche (MS) de l'échantillon de départ (1)
MMe : quantité de matières minérales de l'échantillon de départ (1)
MSr : quantité de matière sèche résiduelle
MMr : quantité de matière minérale résiduelle.

Précision de la méthode

Il convient de passer 3 échantillons par aliment étudié, en outre, un même aliment témoin doit être inclus dans chaque série d'incubation. La répétabilité est de 1,5 point (écart maximal tolérable entre 2 valeurs).

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 91-97

Besoins en lipides des ruminants

M. DOREAU, Y. CHILLIARD, D. BAUCHART *, P. MORAND-FEHR **

INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Lactation, 63122 Ceyrat.
** INRA-CRZV Theix, Laboratoire d'étude du Métabolisme Energétique, 63122 Ceyrat.*
*** INRA-INA P-G, Station de Nutrition et d'Alimentation, 75231 Paris Cédex 05.*

L'enrichissement en matières grasses des aliments concentrés pour ruminants, spécialement pour vaches laitières, est pratiqué en France depuis quelques années. Cette évolution concerne essentiellement les aliments destinés aux fortes productrices. Elle permet en effet d'une part l'accroissement de la concentration énergétique de la ration tout en limitant la proportion d'amidon, d'autre part un apport spécifique d'acides gras qui pourrait avoir des conséquences positives sur le métabolisme lipidique et (ou) sur la sécrétion lactée, notamment au début de la lactation. La modification des performances consécutive à une addition de matières grasses à la ration est cependant très variable. On précisera donc dans ce texte les principales conséquences digestives et métaboliques de l'augmentation de la teneur en lipides de la ration, tout en tentant de définir les besoins réels des ruminants en lipides alimentaires, et d'estimer l'apport en lipides alimentaires utilisables par l'animal à partir de la composition de la ration.

Besoins en acides gras des ruminants

Le besoin d'un animal en une substance, quelle qu'elle soit, peut être calculé soit par une méthode analytique, à partir des quantités de cette substance effectivement utilisées ou produites par l'animal (les dépenses) et du rendement d'utilisation métabolique de cette substance, soit à partir d'essais d'alimentation dans lesquels des apports variables de cette substance sont réalisés. Dans ce paragraphe on tentera de formuler une approche des besoins par la méthode analytique. La dépense en acides gras sera exprimée par la quantité d'acides gras longs indispensable à l'animal pour son entretien et ses productions potentielles, d'origine digestive (alimentaire) ou métabolique (tissus mobilisés). Une étape suivante consistera à définir la quantité d'acides gras métabolisables par l'animal nécessaire pour couvrir ces dépenses.

Nous n'envisagerons pas le besoin strict en acides gras polyinsaturés essentiels, qui ne semble pas poser de problème chez le ruminant après le sevrage, sans doute du fait de mécanismes d'épargne efficaces de ces acides gras (NOBLE, 1981). Il est toutefois possible que l'équilibre entre les acides gras polyinsaturés absorbés (linoléique et linolénique) puisse modifier certaines régulations hormonales et affecter l'état sanitaire et les performances de reproduction en début de lactation (CHASSAGNE, communication personnelle).

Entretien, croissance et engraissement, gestation

Il n'existe pas de dépenses spécifiques d'acides gras pour l'entretien, fonction pour laquelle tous les nutriments énergétiques peuvent, avec des rendements certes différents, contribuer à la couverture des besoins en énergie. De même, le dépôt de triglycérides dans les tissus lipidiques de réserve (jeune ruminant en croissance, adulte reconstituant ses réserves corporelles) se fait essentiellement à partir de l'acétate, même si les acides gras longs préformés peuvent être également utilisés. En gestation, le besoin en acides gras non essentiels est très faible, puisque les acides gras sont synthétisés chez le foetus à partir du glucose et du fructose, et éventuellement à partir d'acétate.

Lactation

La fonction de lactation est la seule pour laquelle existe une dépense spécifique d'acides gras. La totalité des acides gras à 18 atomes de carbone et une partie des acides gras à 16 atomes de carbone secrétés dans le lait proviennent en effet d'acides gras préformés. Cette dépense varie donc avec le niveau de production et le stade physiologique. La figure 1 schématise cette sécrétion d'acides gras chez la vache pour des productions laitières maximales de 20 et 40 kg et un taux butyreux de 38 p. 1000.

Une partie de cette dépense est couverte par les acides gras issus de la mobilisation des réserves corporelles. Celle-ci a lieu pendant le premier et parfois le deuxième mois de lactation. Si l'on parvient à estimer les quantités d'acides gras fournies par la mobilisation lipidique, qui commence à être connue pour des régimes classiques (CHILLIARD, 1987) il devient possible de définir la dépense d'acides gras d'origine alimentaire. Une tentative de schématisation a été réalisée (figure 1). La part des acides gras fournis par l'alimentation tend à être plus important en proportion des dépenses totales lorsque le niveau de produc-

tion est faible, puisque l'intensité de la mobilisation lipidique est positivement liée au niveau de production laitière. Il est de plus probable qu'une fourniture non négligeable d'acides gras par le tissu adipeux des femelles en bilan énergétique positif (remise en circulation d'acides gras synthétisés à partir d'acétate) peut contribuer à la couverture des dépenses d'acides gras des fortes productrices en pleine lactation. Cet effet pourrait être plus marqué lorsque les rations sont pauvres en acides gras.

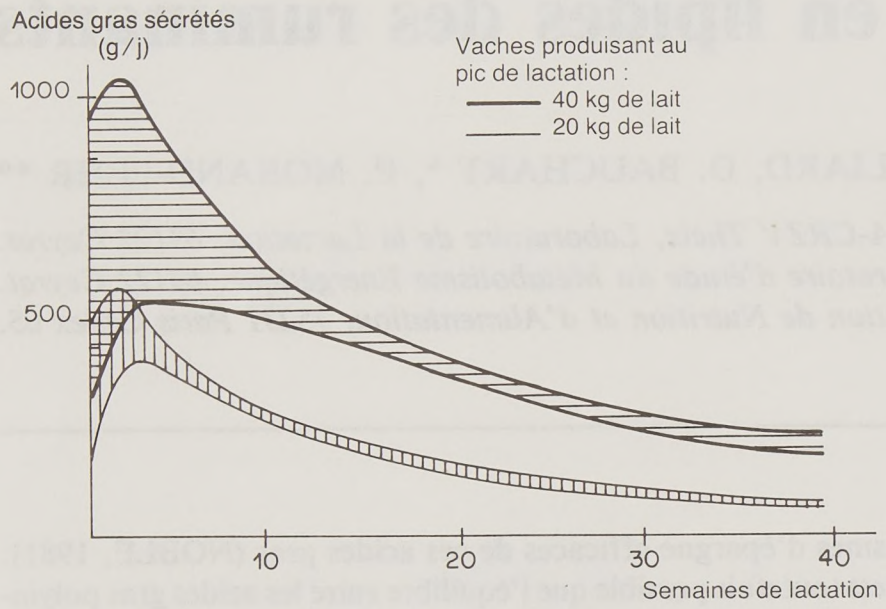


FIG. 1 : *Estimation des dépenses d'acides gras chez des vaches produisant 20 ou 40 kg de lait au pic de lactation avec un taux butyreux de 38 p. 1000, et d'état d'engraissement normal. (Ces chiffres constituent une estimation fondée sur des calculs théoriques.)*

On ne dispose pas d'éléments expérimentaux suffisants pour estimer le rendement d'utilisation métabolique des acides gras. Ils peuvent en effet rester en l'état ou être oxydés pour assurer la fourniture d'énergie pour l'entretien ou les synthèses. Selon CHILLIARD (1985), 50 p. 100 environ des acides gras mobilisés seraient oxydés en début de lactation chez la chèvre, et le reste serait secrété dans le lait. Cette valeur varie probablement avec le stade physiologique et le niveau de production de l'animal, mais aussi avec l'équilibre entre les différents produits terminaux de la digestion. Il semble donc prématuré d'estimer le besoin en acides gras métabolisables par une méthode analytique. Cependant, les courbes de la figure 1 peuvent être comparées aux courbes des quantités ingérées au cours de la lactation (FAVERDIN *et al.*, 1987). Il apparaît ainsi que, pour une vache de potentiel donné, la dépense d'acides gras ne provenant pas des réserves corporelles rapportée au kg d'aliment ingéré serait relativement constante au cours de la lactation. Elle serait en revanche plus élevée pour les plus fortes productrices.

Détermination de l'apport en acides gras digestibles

Teneur et composition des matières grasses des aliments

Les matières grasses des fourrages sont de natures très variées : lipides simples, phospholipides, galactolipides, pigments. Les acides gras en représentent une partie variable, inférieure à 50 p. 100. La principale méthode d'analyse rapide des matières grasses des aliments est l'extrait éthéré, qui n'en dos cependant pas la totalité. Les teneurs les plus fréquentes e extrait éthéré de différents fourrages ont été récapitulées pa ANDRIEU et DEMARQUILLY (1987). Cependant, la plage d variation peut être plus grande. La teneur en acides gras des fou rages verts ou ensilés peut atteindre 3 p. 100 de la MS lorsqu l'herbe est jeune (BAUCHART *et al.*, 1984). De même, la teneu en acides gras de l'ensilage de maïs est comprise entre 1 et p. 100, selon sa teneur en grains. Les fourrages les plus pauvre sont les foins, dont la teneur en acides gras peut ne pas dépas ser 0,5 p. 100 de la MS. La grande variabilité de teneur en ac des gras des fourrages peut rendre l'analyse de l'extrait éthér nécessaire lorsqu'on désire estimer la teneur en acides gras de rations. Cependant, des problèmes méthodologiques importan subsistent. La nouvelle méthode de dosage de l'extrait éthér des aliments adoptés au niveau de la CEE et utilisant l'éther d pétrole donne pour les fourrages des résultats très inférieurs l'ancienne, utilisant l'éther diéthylique. L'éther de pétrole extra incomplètement les lipides complexes tels les phospholipides, la gement présents dans les fourrages. Des relations très provisoi res ont été établies par MICHALET-DOREAU et BAUCHART à partir d'un nombre restreint d'échantillons (figure 2) ; un comparaison plus complète devra être entreprise. A l'heur actuelle, la méthode exacte d'analyse de l'extrait éthéré doit êtr précisée lorsqu'on cherche à estimer la teneur en acides gras de fourrages.

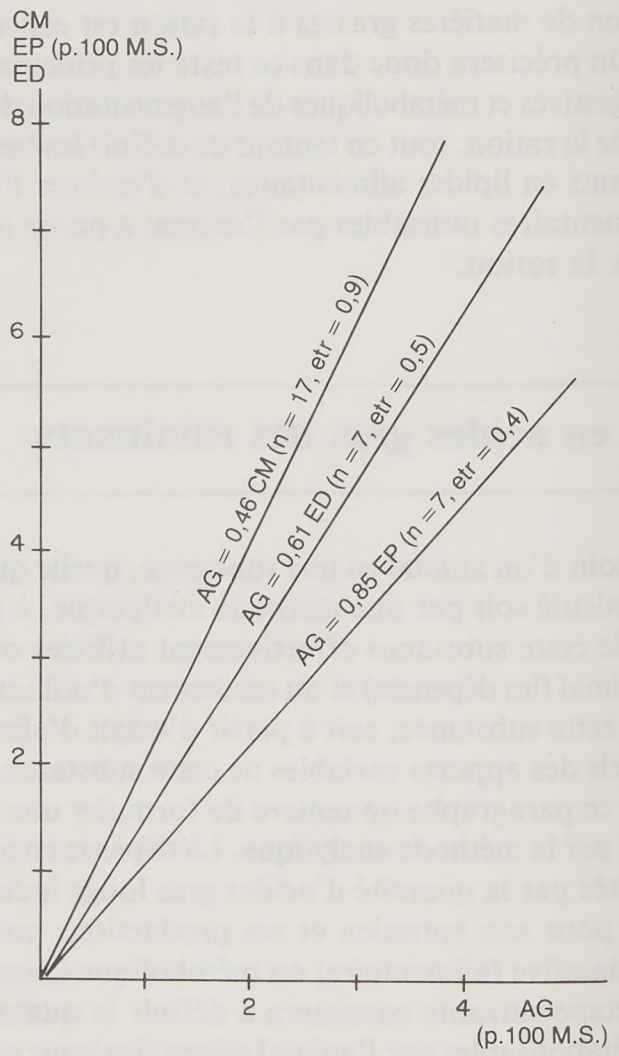


FIG. 2 : *Relation entre la teneur en acides gras (AG) des fourrages différentes méthodes d'extraction des lipides : éther de pétrol (EP), éther diéthylique (ED), lipides totaux obtenus par extra tion au chloroforme-méthanol (CM).*

Les matières grasses des aliments concentrés comprennent une proportion de triglycérides allant de 99 p. 100 (graines oléagineuses, riches en lipides de réserve) à 60 p. 100 (tourteaux, riches en lipides de structure). Les triglycérides comprennent 93 p. 100 d'acides gras. A partir des Tables, il est possible de calculer la teneur en acides gras de ces aliments, en considérant en première approximation que l'extrait éthéré mesure la totalité des lipides et seulement des lipides. L'extraction à l'éther de pétrole (EP) donne des résultats légèrement plus faibles que celle à l'éther diéthylique (ED) : EP = 0,98 ED, n = 36), mais la différence est minime et peut être négligée. Pour les matières premières ne figurant pas dans les Tables, ou dont la teneur en lipides est variable (tourteau expeller), ou encore pour les aliments composés, une analyse du produit est nécessaire. Une équation reliant les teneurs en acides gras (AG) et en extrait éthéré obtenu avec l'éther de pétrole (EP), exprimées en p. 100 de la MS a été établie par MICHALET-DOREAU et BAUCHART à partir de 23 comparaisons portant sur 18 matières premières et 5 aliments composés comprenant 0,5 à 15 p. 100 d'acides gras.

AG = 0,86 EP (r = 0,98, etr = 0,67) (etr : écart-type résiduel). Cette relation s'applique aux aliments situés dans la fourchette de concentration étudiée. Elle ne peut être utilisée pour les aliments pour lesquels la part de triglycérides dans les lipides totaux est très élevée, comme les graines oléagineuses.

Les huiles sont exclusivement constituées de triglycérides, quelle que soit leur origine. Les suifs peuvent se présenter bruts, sous forme d'huile acide partiellement hydrolysée ou d'acides gras libres. Selon les proportions de triglycérides, d'eau et d'impuretés qu'ils contiennent, ils comprennent de 93 à 98 p. 100 d'acides gras. Les autres formes de présentation de suppléments lipidiques : matières grasses cristallisées adsorbées sur support, savons de calcium, contiennent de 85 à 95 p. 100 d'acides gras selon l'importance du constituant qui leur est associé (calcium) ou servant de support. Les «fat prills» sont constitués presque exclusivement d'acides gras libres sous forme cristallisée. Les lipides enrobés d'une coque de protéines tannées peuvent contenir des proportions très variables d'acides gras.

Il est à noter que les matières grasses de graines oléagineuses sont parfois déterminées par une méthode utilisant l'hexane, qui n'extrait que les triglycérides. Pour ce type d'aliment, le résultat est très voisin de celui obtenu avec l'éther de pétrole. Par ailleurs, certains aliments, dont les suifs raffinés et tout particulièrement les savons de calcium, doivent faire l'objet d'une hydrolyse acide avant l'extraction à l'éther.

La nature des acides gras diffère fortement selon les aliments, mais aussi au sein d'une même catégorie d'aliments. Une fourchette de proportions des principales classes d'acides gras est précisée sur le tableau 1 pour différents types de fourrages, concentrés et suppléments lipidiques, essentiellement à partir de données compilées par WOLFF (1981), MORAND-FEHR (1981) et BAUCHART *et al.* (1985), et d'analyses non publiées de BAUCHART et du Laboratoire de la Lactation. N'y figurent pas les suppléments lipidiques de composition non standardisée, dont les matières premières varient selon les conditions du marché.

Relation entre acides gras ingérés et acides gras digérés.

Cette relation est le résultat de deux processus : le métabolisme des acides gras dans le rumen et leur absorption dans l'intestin grêle. Les mécanismes ont été décrits précédemment (BAUCHART *et al.*, 1985). Au niveau ruminal, les phénomènes d'hydrolyse et d'hydrogénation modifient la composition en acides gras en réduisant fortement la proportion d'acides polyinsaturés. Actuellement, il ne semble exister aucune technique permettant d'éviter efficacement l'hydrogénation microbienne des acides gras ingérés. Celle-ci n'est cependant pas totale dans le cas de régimes riches en aliments concentrés et de certains suppléments lipidiques dits «protégés». Les acides gras à chaîne longue (14 atomes de carbone et plus) ne sont pas absorbés au niveau du rumen ; par ailleurs, les bactéries synthétisent des acides gras libres et des phospholipides. Aussi, dans la majorité des cas, le flux d'acides gras duodénal est supérieur à la quantité d'acides gras ingérée. Plusieurs exceptions sont à noter : les rations comprenant de l'huile de coprah, et certainement de palmiste, dont les acides gras à 12 atomes de carbone et moins sont absorbés dans le rumen, probablement les rations à base d'herbe, et les rations fortement enrichies en lipides (plus de 5 p. 100 d'acides gras dans la MS), pour lesquelles le flux duodénal semble inférieur à l'ingéré, pour une raison encore inconnue ; il pourrait exister un catabolisme des acides gras par les microorganismes du rumen ou par les cellules épithéliales du rumen, qui reste cependant à démontrer.

Les données bibliographiques permettant de quantifier ces phénomènes fournissent des réponses très variables. Nous avons cependant retenu 61 bilans duodénaux obtenus sur moutons (31) et sur vaches (30), provenant essentiellement du Royaume-Uni (22) et de l'INRA de Theix (16). Les teneurs en acides gras ingérés dans la MS variaient entre 0,9 et 10,5 p. 100. Une équation globale provisoire entre les acides gras arrivant au duodénum

TABLEAU 1

Composition en acides gras des principales sources de lipides

MATIERE PREMIERE	< C 16	C 16 (palmitique)	C 18:0 (stéarique)	C 18:1 (oléique)	C 18:2 (linoléique)	C 18:3 (linolénique)
fourrages verts	0-6	9-37	0-4	1-8	5-21	47-79
foins	2-9	17-48	2-15	3-10	5-15	5-48
ensilages d'herbe	2-5	15-37	1-5	4-17	17-30	16-55
ensilages de maïs	0-5	20-55	2-6	10-23	21-43	1-3
céréales et son	-	5-35	0-3	9-38	42-68	-
coprah	75-83	4-12	1-5	3-12	0-4	-
palme	0-6	32-59	1-8	27-52	5-14	0-2
suifs	2-4	24-28	15-29	31-42	1-4	0-2
autres graisses animales	-	22-26	10-18	40-52	2-9	0-2
soja	-	10-13	1-5	22-31	48-55	5-9
colza	0-1	2-6	1-2	50-66	18-30	6-14
tournesol	-	5-8	3-8	20-52	37-71	0-2

(AGDUO) et les acides gras ingérés (AGI), exprimés en p. 100 de la MS, a été obtenue :

$$AGDUO = 0{,}79\ AGI + 0{,}89\ (r = 0{,}94,\ etr = 0{,}69)$$

Une grande partie de ces acides gras provenant du rumen sera absorbée dans l'intestin grêle. Peu de valeurs précises de digestibilité ont été obtenues, car elles nécessitent des animaux porteurs à la fois de fistules du duodénum et de l'iléon. Les données de digestibilité globale des acides gras entre les ingesta et les fèces ont longtemps laissé supposer que la digestibilité des acides gras était plus faible avec des régimes classiques qu'avec des régimes enrichis en matières grasses. Ce résultat est surtout dû à une part non négligeable de lipides fécaux d'origine endogène (bile) ou synthétisés par les bactéries du gros intestin, dépendant peu des quantités de lipides ingérées. La digestibilité apparente des acides gras dans l'intestin grêle est comprise entre 75 et 90 p. 100. Elle prendrait les valeurs les plus faibles pour les régimes les plus riches en matières grasses (environ 10 p. 100 de la ration). Elle semble peu dépendre de la nature des acides gras et serait plus faible chez la vache que chez le mouton, ou encore lorsque des triglycérides (et non des acides gras libres) parviennent au duodénum (CHILLIARD et BAUCHART, non publié). Une valeur moyenne de 82 p. 100 peut être provisoirement retenue. La quantité d'acides gras digestibles (AGD) est alors :

$$AGD = 0{,}65\ AGI + 0{,}73\ (AGD \text{ et } AGI \text{ en p. 100 de la MS})$$

Ces différentes données permettent ainsi d'estimer pour une ration la teneur en acides gras métabolisables, puisque tous les acides gras digestibles sont métabolisables.

Utilisation des matières grasses comme source d'énergie

Les matières grasses ont une valeur énergétique brute très élevée ; mais leur intérêt en tant que source d'énergie dépend de leur utilisation digestive et métabolique, ainsi que des interactions avec le reste de la ration.

Interactions digestives

L'action souvent négative d'apports importants de matières grasses sur la digestion du reste de la ration constitue une limite certaine à l'emploi des matières grasses dans l'alimentation des ruminants. Les principaux aspects ont été détaillés par BAUCHART *et al.* (1985) pour les bases théoriques et par DOREAU et BAUCHART (1984) pour les implications pratiques. Ils seront résumés mais aussi actualisés dans ce paragraphe à partir de nouvelles notions apparues à la lumière d'expérimentations récentes.

L'addition de matières grasses à une ration tend à réduire la digestibilité des glucides de la ration, essentiellement des glucides pariétaux. L'action s'exerce au niveau du rumen, et est partiellement compensée au niveau de l'intestin, en particulier pour l'amidon qui est digestible dans l'intestin grêle. A même niveau d'apport, cet effet négatif est plus prononcé pour les sources lipidiques riches en acides gras polyinsaturés, et est notamment très marqué avec les huiles de foie de poisson. Les mécanismes le plus souvent invoqués étaient le «revêtement» des particules alimentaires par un film d'acides gras empêchant l'attaque bactérienne, et une action négative spécifique des acides gras polyinsaturés sur la croissance microbienne. Tout un faisceau de résultats récents a permis d'infirmer ou de relativiser ces théories : l'apport de matières grasses ne réduit pas la biomasse bactérienne du rumen, et les acides gras sont intégrés dans les corps bactériens (BAUCHART *et al.*, 1986) ; la vitesse de dégradation des glucides est réduite, mais pas le potentiel de dégradation ; l'action négative des suppléments lipidiques dépend plus de la nature de la ration de base que de celle des acides gras (DOREAU et MICHALET-DOREAU, 1988). Une éventuelle action synergique de l'amidon et des lipides reste à montrer, et de nouvelles hypothèses sur les mécanismes mis en jeu à formuler.

L'une des conséquences de ces interactions lipides-glucides est l'orientation des fermentations ruminales vers la production d'acide propionique, le pH n'étant toutefois pas abaissé. Cet effet est d'autant plus marqué que la diminution de la digestibilité ruminale est importante, mais il n'est pas directement lié à la nature des acides gras de la ration. Outre cette action, l'apport de matières grasses accroît le rendement de la synthèse de protéines microbiennes (c'est-à-dire de la quantité de protéines microbiennes synthétisées par unité de matière organique fermentée dans le rumen), peut-être parce que le nombre de protozoaires est réduit, entraînant un raccourcissement du cycle de l'azote dans le rumen. Cet accroissement du rendement permet ainsi le plus souvent de maintenir, voire d'accroître la quantité de protéines microbiennes synthétisées, malgré la diminution de la quantité de matière organique fermentée dans le rumen.

Il est connu que l'apport de calcium sous une forme soluble dans le rumen (chlorure, phosphate monocalcique) réduit les perturbations qui viennent d'être évoquées. Ceci a été attribué à la formation de savons de calcium insolubles, et donc neutres vis-à-vis de la flore microbienne, dans le rumen, et a justifié l'emploi de savons de calcium comme supplément lipidique. En réalité, il n'est pas exclu que le calcium agisse sous forme ionisée sur l'attachement des bactéries aux particules alimentaires : l'apport alimentaire de calcium n'accroîtrait pas la formation de savons dans le rumen (PALMQUIST *et al.*, 1986).

La hiérarchie des facteurs agissant sur les interactions digestives est encore mal établie, mais celles-ci semblent plus faibles avec :

les lipides pauvres en acides gras polyinsaturés.

les graines oléagineuses par rapport aux huiles correspondantes.

les régimes bien pourvus en calcium soluble et probablement les savons de calcium.

les lipides partiellement protégés de l'hydrogénation ruminale.

les rations à base de foin ou d'ensilage d'herbe par rapport à celles à base d'ensilage de maïs.

un apport lipidique réparti au cours de la journée.

Malgré tout, la comparaison des différentes sources de matières grasses apparues sur le marché est délicate. Ainsi, on ne sait pas avec précision s'il vaut mieux apporter des lipides sous forme d'acides gras ou de triglycérides ; on ne dispose d'aucun test simple d'évaluation des effets d'une source lipidique ou d'un traitement technologiquement des lipides sur l'hydrolyse puis l'hydrogénation des acides gras, et leur action sur la dégradation de la matière organique dans le rumen.

Valeur énergétique nette des lipides ajoutés à la ration

Dans la plupart des systèmes d'expression de la valeur énergétique des aliments en usage en Europe, la valeur énergétique des lipides, comparée à celle de l'orge, est comprise entre 2,4 et 3,1 dans presque tous les cas, mais dépasse 4 dans le système est-allemand. Ces différences sont dues au fait qu'aucun de ces systèmes n'a été élaboré en tenant compte des spécificités des régimes enrichis en lipides distribués aux vaches laitières. En France, VERMOREL *et al.* (1986) ont proposé une valeur UFL des matières grasses égale à 2,8. En fait, il est difficile de fixer une valeur unique pour toutes les matières grasses, en raison des conséquences digestives et métaboliques très variables qu'elles entraînent. La valeur de 2,8 UFL a été donnée pour les graisses animales ou la plupart des huiles végétales, ajoutées à des rations à base de foin.

Le mode de calcul de cette valeur constitue un cas particulier dans le principe général du système français des unités fourragères. Il prend en effet en compte les interactions digestives entre les lipides ajoutés et les glucides pariétaux de la ration, alors que d'une façon générale les interactions fourrage-concentré font l'objet de corrections postérieures au calcul de l'apport UF de la ration. En effet, malgré la grande variabilité des interactions digestives lipides-glucides, il apparaît que la concentration en énergie métabolisable d'une ration classique varie peu chez la vache laitière lorsqu'on lui ajoute de 5 à 10 p. 100 de matières grasses. L'accroissement du rapport EM/EB dû à l'apport de matières grasses semble compenser les interactions digestives négatives. Aussi le rapport EM/EB appliqué aux lipides est-il voisin de 0,63, moyenne des résultats obtenus sur vaches laitières recevant des rations foin-concentré. Le rendement d'utilisation énergétique des lipides pour la sécrétion lactée et le dépôt de lipides corporels a été considéré comme égal à celui de l'utilisation des lipides corporels mobilisés pour la sécrétion du lait (0,82). Si la valeur énergétique brute d'un kg de lipides est 9,5 Mcal et la nouvelle valeur énergétique nette de l'orge 1,7 Mcal (VERMOREL *et al.*, 1987), la valeur UFL des lipides est donc de :

$$9,5 \times 0,63 \times 0,82 / 1,7 = 2,9$$

soit légèrement plus que la valeur obtenue en 1986 avec l'ancienne valeur énergétique nette de l'orge.

Afin de tenir compte de la grande variabilité des interactions digestives lipides-glucides et des probables différences d'utilisation énergétique des lipides métabolisables selon le stade physiologique des vaches, il sera probablement nécessaire de prévoir une modulation de cette valeur ; les éléments manquent cependant pour la définir dès maintenant.

Effets du niveau d'apport d'acides gras sur les performances zootechniques

Les différents aspects abordés dans les paragraphes précédents ne sont pas suffisants pour définir l'apport optimum en acides gras des rations. Les lipides agissent non seulement en tant que précurseurs d'acides gras longs et comme source d'énergie, mais aussi par leur rôle métabolique. Ainsi une addition de matières grasses se traduit par une modification de la valeur laitière des rations, notion globale qui qualifie leur aptitude à orienter le métabolisme des nutriments absorbés vers la mamelle ou vers le tissu adipeux. L'accroissement des quantités de lipides parvenant à la mamelle entraîne également des modifications ou des régulations des synthèses des constituants du lait. De plus, l'addition de lipides peut réduire l'ingestion totale de matière sèche, soit en raison des perturbations de la digestion ruminale (régulation physique), soit par une action directe des acides gras absorbés dans l'intestin sur l'ingestion du reste de la ration (régulation métabolique ; CHILLIARD et GAGLIOSTRO, non publié). En conséquence, il semble à l'heure actuelle réaliste de déterminer le niveau optimum d'acides gras des rations — en d'autres termes l'apport recommandé — en fonction des performances zootechniques réalisées par les animaux.

Animaux en croissance

Peu d'essais ont été réalisés avec des régimes riches en matières grasses chez les bovins ou ovins en croissance. Leur possible intérêt apparaît moins clairement que chez les femelles laitières. L'ingestion d'énergie est en effet rarement un facteur limitant de la croissance des ruminants, sauf peut-être dans le cas des culards (GEAY, communication personnelle) et une lipogenèse excessive est toujours à éviter. Par ailleurs, l'absorption d'acides gras insaturés peut modifier les qualités organoleptiques des viandes (AUROUSSEAU, 1981).

Les quelques résultats disponibles sur jeunes bovins sont contradictoires. La vitesse de croissance est rarement améliorée par l'enrichissement de la ration en matière grasses, mais parfois l'efficacité alimentaire est accrue (ROBERTS et Mc KIRDY, 1964). Ceci pourrait être mis en relation avec un meilleur rendement d'utilisation métabolique pour la lipogenèse avec les acides gras longs qu'avec les acides gras volatils, ou à l'orientation propionique des fermentations du rumen.

Femelles en lactation

Le niveau d'apport d'acides gras dans la ration de la vache laitière a des effets multiples sur les synthèses mammaires :

— sur la production laitière, c'est-à-dire sur la synthèse de lactose, puisque la quantité d'eau présente dans le lait est directement liée à la quantité sécrétée de lactose. L'éventuel effet positif d'une supplémentation lipidique est probablement dû à une épargne de glucose, les acides gras étant utilisés en substitution comme source énergétique,

— sur le taux protéique. Un apport élevé de lipides alimentaires a un effet négatif sur le taux protéique du lait dans la majorité des cas, en particulier lorsque l'apport lipidique augmente la production laitière, la production de protéines étant alors constante (effet de dilution), et lorsque la quantité d'énergie ingérée n'est pas accrue,

— sur le taux butyreux. L'effet positif lié à une fourniture accrue d'acides gras à la mamelle peut être compensé par la diminution des précurseurs d'acides gras (à 16 atomes de carbone et moins) que sont l'acétate et le bêta-hydroxybutyrate, en cas d'orientation propionique des fermentations ruminales et par une inhibition de la synthèse d'acides gras à partir de ces mêmes précurseurs en cas d'excès d'acides gras longs préformés. Une limitation de l'incorporation de certains acides gras longs peut également se produire. Ces actions métaboliques ont été détaillées par CHILLIARD *et al.* (1986).

A ces effets s'ajoute l'action des lipides alimentaires sur le métabolisme du tissu adipeux. En début de lactation, l'action des lipides alimentaires sur la mobilisation des réserves corporelles est encore mal connue : les résultats expérimentaux à ce sujet sont contradictoires (SAUVANT *et al.*, 1983, CHILLIARD *et al.*, 1986). On peut penser que la réduction de la mobilisation lipidique ne se produit que lorsque l'addition de matières grasses à la ration se traduit par un accroissement de la quantité d'énergie métabolisable ingérée. En milieu de lactation, l'addition de matières grasses peut orienter le métabolisme général vers la lipogenèse par l'intermédiaire de l'accroissement de la part de propionate dans les AGV absorbés. Le supplément d'acides gras longs absorbés n'est que partiellement dirigé vers la mamelle.

Plusieurs auteurs se sont risqués à définir un niveau optimum d'ingestion d'acides gras, avec des approches souvent différentes. Dès 1976, KRONFELD, par un calcul théorique, suggérait que 16 p. 100 d'énergie métabolisable apportée sous forme d'acides gras longs pouvait entraîner une efficacité maximale d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la sécrétion lactée. En 1978, BRUMBY *et al.*, à partir d'expérimentations menées avec des lipides «protégés» par une coque de protéines tannées, obtenaient un apport d'énergie nette maximum avec une part d'énergie digestible en provenance des acides gras de 18 p. 100 en début de lactation et 22 p. 100 après le pic. Ces valeurs, exprimées en énergie métabolisable, sont respectivement de 20 et 25 p. 100. Cette dernière valeur correspond à une teneur en matières grasses de la ration proche de 10 p. 100. Pour leur part, OSTERGAARD *et al.* (1981), à partir d'expérimentations réalisées avec de l'ensilage d'herbe, situent l'apport optimum de «matières grasses corrigées» (lipides des concentrés + acides gras des fourrages) à 5,4 p. 100 pour les 3 premiers mois de lactation et 4,7 p. 100 par la suite. Pour un régime comprenant 2/3 d'ensilage d'herbe et 1/3 d'aliment concentré, cela correspond respectivement à 6,3 et 5,6 p. 100 d'extrait éthéré dans la ration. Il semble que, comme l'affirment ces auteurs et contrairement aux calculs de BRUMBY *et al.* (1978), ce soit en début de lactation que la supplémentation lipidique soit la plus efficace. Selon SAUVANT *et al.* (1984), la réponse à une supplémentation spécifique en acides gras longs sur la sécrétion de ces mêmes acides gras dans le lait est plus favorable au début qu'au cours de la lactation. Ces divergences peuvent s'expliquer par la diversité des situations étudiées. Ainsi, la réponse à un supplément lipidique est plus forte avec des vaches hautes productrices (HEINRICHS *et al.*, 1981), et l'apport optimum de lipides protégés à une même ration de base est très différent selon que le critère considéré est le taux butyreux (plus de 2 kg/j), la production laitière (750 g/j), ou le taux protéique (pas d'apport) (STORRY *et al.*, 1980). Enfin, la nature des acides gras métabolisés est importante. D'après HERMANSEN et PEDERSEN (1987), un apport élevé de matières grasses animales (contenant de l'acide oléique) a un effet moins favorable sur les taux butyreux et protéique et plus favorable sur la production laitière qu'un apport comparable en acides palmitique et stéarique.

La présente analyse, ainsi que les données bibliographiques réunies par MORAND-FEHR *et al.* (1986), permettent cependant de tirer quelques lois générales. L'apport de matières grasses dans la ration semble avoir un effet sur la production laitière nettement positif uniquement dans le cas de rations très pauvres en acides gras (JARRIGE et JOURNET, 1959 ; BANKS *et al.*, 1976). C'est le cas de régimes riches en pulpes de betteraves, en betteraves et en certains foins, et peut-être de l'herbe d'été. La teneur minimale semble comprise entre 2 et 2,5 p. 100 d'acides gras dans la ration ; peut-être est-elle plus élevée pour les très fortes productrices. L'effet de l'apport de matières grasses dans la ration sur la production laitière est en moyenne légèrement positif jusqu'à une teneur en acides gras du régime comprise entre 4 et 6 p. 100 et semble peu marqué pour des teneurs supérieures. L'effet sur le taux butyreux est très variable, pouvant être aussi positif que sur la production laitière dans le cas des rations carencées en acides gras longs, très négatif pour des taux d'incorporation de lipides supérieurs à 7 p. 100 dans certains cas : lipides insaturés non protégés, régimes à base d'ensilage de maïs, mais positif jusqu'à des taux supérieurs à 10 p. 100 dans le cas d'acides gras saturés ou peu métabolisés dans le rumen (CHILLIARD *et al.*, 1986, HERMANSEN et PEDERSEN, 1987). La diminution du taux protéique avec des régimes enrichis en matières grasses est en moyenne de 1 g/l et varie le plus souvent entre 0 et 3 g/l (REMOND, 1986).

Ces résultats conduisent, dans les conditions d'élevage françaises, à recommander une solution de prudence consistant à ne pas dépasser 5 p. 100 d'acides gras totaux dans la ration. De toute manière, la presque totalité des programmes alimentaires prévus par les différents fabricants d'aliments actuellement présents sur le marché français ne permet pas de dépasser ce niveau. Le seuil minimal d'acides gras dans la ration peut être fixé à 2,5 p. 100. Le choix d'une éventuelle incorporation d'une source de lipides dans la ration devra tenir compte de l'intérêt économique d'une supplémentation lipidique, mais aussi d'une approche globale du système de conduite de l'élevage laitier : parmi les différents facteurs génétiques et alimentaires régissant le niveau de production laitière, la complémentation en matières grasses n'est pas toujours un facteur limitant, en particulier lorsque les taux butyreux et protéique sont pris en compte dans les objectifs de production.

Les données disponibles sur chèvres laitières conduisent aux mêmes conclusions (SAUVANT *et al.*, 1983, MORAND-FEHR *et al.*, 1984). Les rations riches en lipides ont rarement été utilisées chez les brebis ; les premiers résultats cités par ROBINSON (1987) semblent encourageants, mais demandent à être confirmés.

Conclusion

De l'analyse des résultats expérimentaux il ressort que la notion de besoin telle qu'elle a été définie est trop étroite pour être seule prise en compte dans le choix de la teneur en matières grasses des rations des ruminants. Une fourchette de teneurs optimales pourrait à l'avenir être définie en fonction de l'objectif de production : par exemple, pour une vache laitière, la production de lait, la teneur ou la production de protéines. De nombreux points restent à éclaircir pour déterminer la couverture de ces besoins, c'est-à-dire la quantité d'acides gras digestible produite par une ration donnée. Une démarche analytique comparable dans son principe à celle du système PDI devrait être adoptée pour élaborer un système d'évaluation de la «valeur lipidique» des aliments pour ruminants. Un travail expérimental important reste toutefois à réaliser dans cet objectif.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont redevables à B. MICHALET-DOREAU et à D. SAUVANT d'échanges d'idées fructueux lors de la préparation de ce texte.

Références bibliographiques

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., 1987. Valeur nutritive des fourrages : tables et prévision. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70.**

AUROUSSEAU B., 1981. Elaboration des lipides corporels et valeur des carcasses des ruminants. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **45**, 43-50.

BANKS W., CLAPPERTON J.L., FERRIE M.E., WILSON A.G., 1976. Effect of feeding fat to dairy cows receiving a fat-deficient basal diet. I. Milk yield and composition. J. Dairy Res., **43**, 213-218.

BAUCHART D., VERITE R., REMOND B., 1984. Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn. Can. J. Anim. Sci., **64**, 330-331.

BAUCHART D., DOREAU M., LEGAY-CARMIER F., 1985. Utilisation digestive des lipides et conséquences de leur introduction sur la digestion du ruminant. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **61**, 65-77.

BAUCHART D., LEGAY-CARMIER F., DOREAU M., JOUANY J.P., 1986. Effets de l'addition de matières grasses non protégées à la ration de la vache laitière sur la concentration et la composition chimique des bactéries et des protozoaires du rumen. Reprod. Nutr. Dévelop., **26**, 309-310.

BRUMBY P.E., STORRY J.E., BINES J.A., FULFORD R.J., 1978. Utilization of energy for maintenance and production in dairy cows given protected tallow during early lactation. J. agric. Sci. Camb., **91**, 151-159.

CHILLIARD Y., 1985. Métabolisme du tissu adipeux, lipogenèse mammaire et activités lipoprotéine-lipasiques chez la chèvre au cours du cycle gestation-lactation. Thèse Doct. Sci., Univ. Paris VI.

CHILLIARD Y., MORAND-FEHR P., SAUVANT D., BAS P., 1986. Utilisation métabolique des lipides par le ruminant en lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **63**, 81-91.

CHILLIARD Y., 1987. Revue bibliographique : Variations quantitatives et métabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au cours du cycle gestation-lactation. 2e partie : chez la brebis et la vache. Reprod. Nutr. Dévelop., **27**, 327-398.

DOREAU M., BAUCHART D., 1984. Optimisation de la digestion de régimes riches en lipides. In CAAA «Peut-on et comment utiliser les matières grasses dans la ration des vaches laitières ?», J1-J26, Ed. ADEPRINA, Paris.

DOREAU M., MICHALET-DOREAU B., 1988. Dégradabilité in sacco de la matière sèche et des constituants pariétaux dans le rumen. Effet de l'apport de matières grasses dans la ration de la vache laitière. Reprod. Nutr. Dévelop., **28**, sous presse.

FAVERDIN P., HODEN A., COULON J.B., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches laitières. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

HEINRICHS A.J., NOYES T.E., PALMQUIST D.L., 1981. Added dietary fat for milk and fat production in commercial dairy herds. J. Dairy Sci., **64**, 353-357.

HERMANSEN J.E., PEDERSEN J., 1987. Milk composition in relation to breeding and feeding. In Cattle Production Research. Danish Status and perspectives. Landhusholdningsselskabets Forlag. Copenhagen, 140-154.

JARRIGE R., JOURNET M., 1959. Influence des facteurs alimentaires et climatiques sur la teneur en matières grasses du lait. Ann. Nutr. Alim., **13**, A 233-A 277.

KRONFELD D.S., 1976. The potential importance of the proportions of glucogenic, lipogenic and aminogenic nutrients in regard to the health and productivity of dairy cows. Adv. Anim. Physiol. Anim. Nutr., **7**, 5-26.

MORAND-FEHR P., 1981. Les lipides dans les aliments concentrés pour ruminants. In «Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants», 297-305, INRA Publ., Versailles.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., BAS P., 1984. Utilisation des matières grasses chez les ruminants : expériences françaises réalisées sur chèvres laitières. In CAAA «Peut-on et comment utiliser les matières grasses dans la ration des vaches laitières ?», D1-D22, Ed. ADEPRINA, Paris.

MORAND-FEHR P., CHILLIARD Y., BAS P., 1986. Répercussions de l'apport de matières grasses dans la ration sur la production et la composition du lait de ruminant. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **64**, 59-72.

NOBLE R.C., 1981. Digestion, absorption and transport of lipids in ruminant animals. In W.W. CHRISTIE, Lipid metabolism in ruminant animals, 57-93, Ed. Pergamon Press, Oxford.

OSTERGAARD V., DANFAER A., DAUGAARD I., HINDHEDE J., THYSEN I., 1981. The effect of dietary lipids on milk production in dairy cows. Rep. 508, Nat. Inst. Anim. Sci., 140 p.

PALMQUIST D.L., JENKINS T.C., JOYNER A.E. Jr, 1986. Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. J. Dairy Sci., **69**, 1020-1025.

REMOND B., 1986. Influence de l'alimentation sur la composition du lait de vache. 2. Taux protéique : facteurs généraux. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **62**, 53-67.

ROBERTS W.K., Mc KIRDY J.A., 1964. Weight gains, carcass fat characteristics and rations digestibility in steers as affected by dietary rapeseed oil, sunflower oil and animal tallow. J. Anim. Sci., **23**, 682-687.

ROBINSON J.J., 1987. Energy and protein requirements of the ewe. In W. HARESIGN, D.J.A. COLE, Recent advances in animal nutrition, 187-204, Ed. Butterworths, London.

SAUVANT D., MORAND-FEHR P., BAS P., 1983. L'intérêt des lipides dans les aliments concentrés : observations chez la chèvre. In CAAA «Quels aliments concentrés pour les vaches fortes productrices de lait ?», K1-K17, Ed. ADEPRINA, Paris.

SAUVANT D., MICHALET-DOREAU B., VERMOREL M., 1984. La valeur énergétique des matières grasses de la ration des ruminants laitiers. In CAAA «Peut-on et comment utiliser les matières grasses dans la ration des vaches laitières ?», K1-K31, Ed. ADEPRINA, Paris.

STORRY J.E., BRUMBY P.E., DUNKLEY W.L., 1980. Influence of nutritional factors on the yield and content of milk fat : protected non-polyunsaturated fat in the diet. In J.H. MOORE, J.A.F. ROOK, Factors affecting the yields and contents of milk constituents of commercial importance, Bull. Fed. Int. Laiterie, Doc. 125, 105-125.

VERMOREL M., SAUVANT D., MICHALET-DOREAU B., 1986. Valeur énergétique des matières grasses de la ration des vaches laitières. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **66**, 67-73.

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du système des unités fourragères (UF). Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70.**

WOLFF J.P., 1981. Lipides. In Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agricoles et alimentaires, vol. 4, 144-186, Ed. APRIA, Paris.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 99-104

Les acides aminés dans l'alimentation des ruminants

H. RULQUIN et C. CHAMPREDON *

INRA-St-Gilles, Station de Recherches sur la Vache laitière, 35590 L'Hermitage.
** INRA-CRZV Theix, Laboratoire du Métabolisme azoté, 63122 Ceyrat.*

Les différents processus de la digestion des protéines aboutissent à l'absorption d'acides aminés et à leur transport vers les tissus utilisateurs. Pour le nutritionniste, le besoin en acides aminés pour un animal donné, correspond à la quantité qui doit être apportée quotidiennement à son organisme afin qu'il se maintienne en vie, se reproduise et éventuellement assure une production qui, pour la plupart des espèces domestiques, est exploitée par l'homme. A cet égard, les ruminants tiennent une place privilégiée, car ils produisent plus du tiers de la viande et la quasi-totalité du lait consommés dans le monde.

I. Les bases physiologiques du besoin

* Les acides aminés et le métabolisme protéique

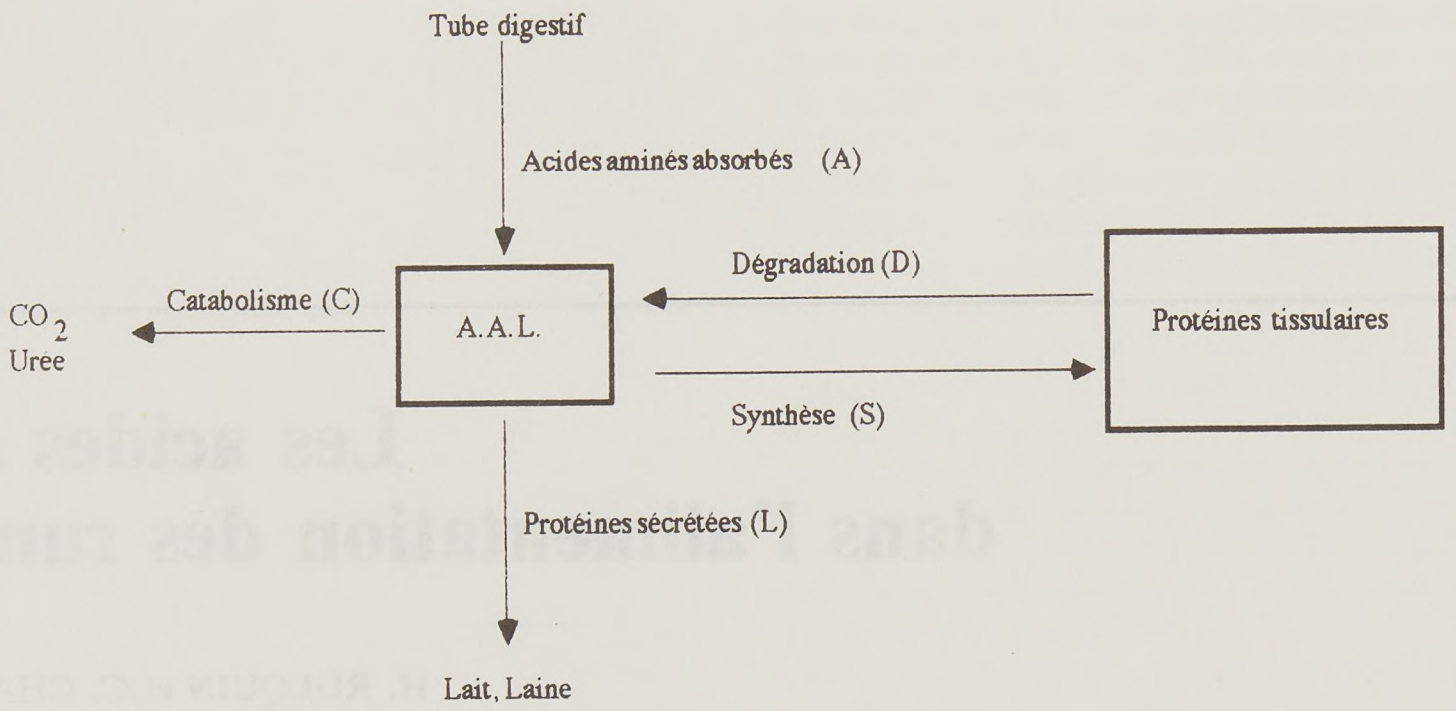
Dans l'organisme, le métabolisme protéique correspond à l'ensemble des réactions biochimiques qui concernent les protéines et leurs constituants de base que sont les acides aminés. Il peut être schématisé selon un modèle à deux compartiments (figure 1). Le compartiment «acides aminés libres» qui constitue le carrefour ou compartiment d'échange du métabolisme protéique, ne représente qu'une très faible proportion (1 p. 1000 à 2 p. 100) de la quantité totale d'acides aminés d'un organisme vivant. Il est alimenté par les composés qui proviennent du tube digestif et de la dégradation des protéines. Ce flux d'apport d'acides aminés est considérable puisque, pour la plupart d'entre eux, la quantité reçue chaque heure par ce compartiment est supérieure à celle qui y est présente. Il fournit les acides aminés utilisés pour la synthèse des protéines des tissus (qui constituent le deuxième compartiment du modèle), ainsi que ceux qui sont incorporés dans les protéines sécrétées comme celles du lait ou des phanères. A chaque instant dans les tissus, des protéines sont en voie de synthèse et de dégradation alors que celles qui sont sécrétées ne sont plus dégradées lorsqu'elles quittent les cellules où elles ont été élaborées. Chez l'animal adulte à l'entretien, le processus de dégradation est entièrement compensé par celui de la synthèse alors que dans le cas de la croissance, c'est ce dernier qui est le plus intense. La différence entre les quantités de protéines synthétisées et celles des protéines dégradées correspond à la quantité de protéines fixées. Enfin, le compartiment «acides aminés libres» distribue les acides aminés vers la voie du catabolisme oxydatif qui aboutit principalement à la production de CO_2 et d'urée. Le rôle des hormones sur l'activité des différentes voies du métabolisme protéique chez les ruminants a fait l'objet d'une revue récente (GRIZARD *et al.*, 1988).

Pour que la synthèse protéique puisse s'effectuer, il est impératif que tous les acides aminés nécessaires à ce processus soient présents au niveau cellulaire dans une proportion optimale. Si l'un de ces composés fait défaut, la synthèse ne peut s'effectuer et, au contraire, si certains autres sont présents en excès, ils sont catabolisés, ce qui correspond à un gaspillage de nutriments.

Dans le cas des ruminants, en raison des remaniements des matières azotées dans le rumen, les quantités d'acides aminés qui arrivent dans l'intestin grêle sous forme de protéines microbiennes et alimentaires plus ou moins modifiées ne peuvent être estimées, comme cela peut se faire pour les non-ruminants, à partir de la composition de la ration et des quantités d'aliments consommées. Il en résulte que les besoins en acides aminés sont difficiles à apprécier dans leur globalité. Face à cette difficulté, les études se sont portées sur l'utilisation des acides aminés par les différents organes du ruminant. La glande mammaire a été beaucoup étudiée, car elle est un organe bien individualisé.

L'exemple du métabolisme mammaire

La glande mammaire prélève les acides aminés dans le sang qui l'irrigue et incorpore ces derniers dans les protéines du lait (MEPHAM, 1982). L'efficacité de cette incorporation est variable suivant le composé considéré. La méthionine, la phénylalanine et l'histidine sont pratiquement utilisées en totalité pour la synthèse protéique, alors que la thréonine, la lysine, les acides



Le flux total d'acides aminés (F) est la quantité (en g/jour) de ces composés qui arrivent dans le compartiment "acides aminés libres" (A.A.L.) ou qui le quittent :

$$F = A + D = S + C + L$$

Ce schéma ne prend pas en considération la synthèse endogène d'acides aminés non indispensables (acide glutamique, alanine...).

FIG. 1 : *Schéma du métabolisme protéique.*

aminés à chaîne ramifiée et surtout l'arginine ne le sont qu'en partie. On peut supposer que les acides aminés qui sont utilisés par la glande avec le rendement le plus élevé sont ceux dont la fourniture est la plus critique et par conséquent seraient les plus limitants. Cela ne constitue pour le moment qu'une simple hypothèse.

La glande mammaire est un organe dont l'activité métabolique est particulièrement intense. C'est ainsi que le flux d'acides aminés correspondant à la sécrétion des protéines du lait est de l'ordre de 35 p. 100 du flux total chez la vache (OLDHAM *et al.*, 1980) et chez la chèvre (CHAMPREDON *et al.*, 1986 a). Cette valeur se trouve être, en début de lactation, au-dessus de celle que l'on peut estimer pour le flux correspondant à ce qui arrive du tube digestif et qui se situe parfois entre 25 et 30 p. 100. A ce même stade, l'intensité de la synthèse protéique dans d'autres tissus et organes est plus faible que celle que l'on observe à l'entretien (BRYANT et SMITH, 1982 ; CHAMPREDON *et al.*, 1986 b). Ceci correspond à un mécanisme d'adaptation de l'organisme à la très forte demande d'acides aminés par la glande mammaire : l'utilisation de ces composés par les autres tissus (muscles, peau...) est réduite, ce qui constitue un processus d'épargne d'énergie et des acides aminés indispensables au profit de la synthèse des protéines du lait. L'organisme des ruminants laitiers distribue donc les substrats provenant du tube digestif entre la glande mammaire et les autres tissus, en privilégiant cependant cette dernière. Cette répartition dépend de nombreux facteurs parmi lesquels figurent en priorité les facteurs endocriniens et nutritionnels.

* La notion de besoin en acides aminés des ruminants

BLACK *et al.* (1957) ont montré que les acides aminés indispensables pour les tissus des ruminants sont les mêmes que ceux qui le sont pour les monogastriques. Ce sont des composés qui ne sont pas synthétisés (ou le sont en trop faibles quantités) par l'organisme. La plupart des auteurs admettent que ce sont la thréonine, la valine, la méthionine, l'isoleucine, la leucine, la phénylalanine, la lysine, l'histidine, l'arginine et le tryptophane. La cystine et la tyrosine, respectivement synthétisées à partir de méthionine et de phénylalanine sont dites semi-indispensables. Tous ces composés doivent donc être fournis par l'alimentation.

La fermentation des aliments dans le rumen conduit à la production de quantités importantes de protéines microbiennes qui sont digérées dans l'intestin des ruminants. Ces protéines comportent tous les acides aminés indispensables et semi-indispensables. On pourrait donc supposer que les ruminants n'ont pas de besoins particuliers en acides aminés. Cela est vrai pour l'entretien et pour une production limitée. Lorsqu'on considère des animaux à potentiel élevé, cette production microbienne d'acides aminés indispensables ne suffit plus et on doit considérer qu'une proportion notable d'acides aminés provenant des protéines alimentaires est absorbée dans l'intestin.

La notion de besoins en acides aminés indispensables des ruminants doit être précisée compte tenu de ce qui précède : il s'agit pour une espèce, pour un type de ration et pour une production donnés de définir la nature et la quantité journalière de chaque composé à fournir aux tissus en complément de ce

qui provient du tube digestif afin de permettre à la synthèse protéique de s'effectuer de manière optimale compte tenu des potentialités des animaux et de réduire le gaspillage des matières azotées consommées. Il s'agit donc d'un «supplément d'apport absorbable dans l'intestin» des acides aminés qui pourraient être des facteurs limitants de la synthèse protéique.

En fait, cela correspond à la quantité juste nécessaire pour obtenir le niveau optimal de performances. Il faut cependant tenir compte du fait que chez les ruminants laitiers à haut potentiel (JOURNET *et al.*, 1983), un apport notable d'acides aminés provient, en début de lactation, de la mobilisation des réserves protéiques tissulaires. Leur reconstitution ultérieure peut être négligée, car elle s'étale sur plusieurs mois.

* Identification des acides aminés limitants

Méthodes d'étude

Les méthodes les plus utilisées pour connaître la nature des acides aminés limitants chez les ruminants sont basées sur la modification des quantités d'acides aminés mises à la disposition de l'organisme soit en intervenant à l'entrée de l'intestin (CHALUPA et SCOTT, 1976 ; CLARK, 1975 ; REIS et TUNKS, 1978) ou dans la circulation sanguine (FISHER, 1972 ; CHAMPREDON *et al.*, 1977) et sur l'observation des effets produits. Pour modifier les apports au niveau intestinal, il est possible de procéder à des administrations de protéines et/ou d'acides aminés chez les animaux munis de canules de la caillette ou du duodénum (RULQUIN, 1986 et 1987). On peut aussi incorporer à la ration des protéines tannées ou des acides aminés protégés (ROGERS *et al.*, 1987), qui sont peu dégradés dans le rumen, ce qui a pour effet de modifier la composition en acides aminés des PDI.

L'effet de ces manipulations est contrôlée par la mesure des variations des performances des animaux : bilans azotés, vitesse de croissance, production de laine et production de lait. Dans de nombreux travaux, les teneurs en certains paramètres sanguins, en particulier les acides aminés libres ont été mesurées. L'étude des concentrations des acides aminés libres du plasma ou du sang permet de mettre en évidence les déséquilibres qui peuvent exister entre les apports et les besoins (CHAMPREDON *et al.*, 1987). Les teneurs des composés les plus limitants ne varient pratiquement pas en fonction des apports tant que les besoins ne sont pas satisfaits, puis augmentent rapidement ensuite (WAKELING *et al.*, 1970).

Les besoins des ruminants peuvent aussi être estimés par une approche factorielle (SMITH, 1980), en tenant compte de la composition des produits élaborés par l'organisme : protéines corporelles, laine ou lait. Les limites de cette méthode proviennent du fait que le métabolisme des acides aminés est encore assez mal connu chez ces animaux et diffère parfois nettement de ce que l'on observe chez les espèces monogastriques. Par exemple, les acides aminés à chaîne ramifiée (valine, isoleucine et leucine) sont peu dégradés dans les muscles des ruminants (HARPER *et al.*, 1983), alors que ce tissu est leur principal site de catabolisme chez les monogastriques.

II. Les différents types de production et leurs acides aminés limitants

Pour donner une signification pratique à cette étude, nous ne nous sommes intéressés qu'aux essais utilisant des critères zootechniques pour évaluer les effets d'un apport d'acides aminés sur les fonctions d'entretien, de croissance, de production de laine et de lait.

* L'entretien

Actuellement, les besoins d'entretien ne sont pas connus. Les seules estimations réalisées avec des animaux entièrement nourris par infusion (ASPLUND, 1986) paraissent très surestimées car elles sont 2 fois plus élevées que l'estimation du besoin d'entretien en termes de PDI.

* La croissance

Chez des bouvillons en phase de croissance (200 kg, gagnant 1,2 kg/j) consommant une ration à base de maïs, le gain de poids peut être augmenté de 160 g/j par un apport post-ruminal journalier de 13 g de méthionine et de 8 g de lysine (OKE *et al.*, 1986). Dans des conditions similaires, la rétention azotée est accrue de 5 à 7 g/j par l'infusion de 3 à 9 g de méthionine et de 5 à 24 g de lysine (CHALUPA et SCOTT, 1976 ; HILL *et al.*, 1980). Avec des régimes comportant de l'urée comme seule source d'azote, l'adjonction de thréonine à l'apport de méthionine et de lysine permet un accroissement des performances des veaux de 9 p. 100 (RICHARDSON et HATFIELD, 1978) et aussi des agneaux (NIMRICK *et al.*, 1970). Ces régimes, ne fournissant que des protéines microbiennes, risquent en plus d'être carencés en arginine et en histidine (STORM et ORSKOV, 1984). En revanche, la croissance de bouvillons en phase de finition (350 kg, gagnant 1 à 1,4 kg/j) consommant des régimes riches en maïs n'est plus améliorée par des apports supplémentaires de méthionine et de lysine (STRASIA *et al.*, 1986 ; OKE *et al.*, 1986).

* La production de laine

Les chercheurs australiens ont montré que la croissance de la laine en longueur et en diamètre peut être accrue de 30 p. 100 par l'infusion de 2 g/j de méthionine ou de cyst(é)ine (REIS, 1967). La croissance en diamètre est susceptible d'être aussi limitée par des carences en lysine, isoleucine et leucine (REIS et TUNKS, 1978).

* La production de lait

Avec la plupart des rations pour vaches laitières, l'apport post-ruminal d'un seul acide aminé (méthionine ou lysine) ne permet pas d'accroître de façon significative la production de lait ou de protéines du lait (tableau 1).

Les rations dont plus de 60 p. 100 des protéines proviennent du maïs (ensilage, grain, gluten meal) semblent être carencées en lysine. Pour des rations plus courantes (dont seulement 25 à 50 p. 100 des protéines proviennent du maïs), la lysine doit être associée avec de la méthionine pour obtenir une réponse

TABLEAU 1

Effets d'apports post-ruminaux d'acides aminés sur la production laitière

AUTEURS	RATION COMPOSITION (%)	APPORTS D'ACIDES AMINES mode d'apport	MET (g/j)	LYS (g/j)	THR (g/j)	REPONSES DES PRODUCTIONS lait (% en + du témoin)	protéines (% en + du témoin)
ROGERS et al. (1984)	50 foin de luzerne, 42 maïs 7 ttx soja	inf. ttx coton	3	17	10	1.6	4.2
		inf. ttx soja	3	22	16	4.9	5.7
		inf. caséine	11	29	16	6.9	9.9
RULQUIN (1986)	32 maïs déshy., 9 blé, 5 lupin	inf. gélatine	5	24	12	3.2	0
	24 pulpes betteraves déshy. 18 foin prairie naturelle	inf. soja	6	32	21	7.8	4.2
		inf. caséine	17	44	26	9.1	9.5
SCHWAB, SATTER, CLAY (1976)	37 foin luzerne, 49 maïs	inf. A.A.	7			-1.3	-2
	19 pulpes betteraves déshy.		7	22		-1.3	3.9
SCHWAB, SATTER, CLAY (1976)	14 foin luzerne, 31 maïs	inf. A.A.		28		1.4	1.8
	35 ensil. maïs, 13 avoine		11	28		1.4	5.3
	5 pulpes betteraves déshy.		11	28	15	5.8	8.8
RULQUIN (1987)	31 maïs déshy., 9 maïs, 5 lupin	inf. A.A.	11			2.3	2.7
	24 pulpes betteraves déshy.			24		2.7	2.8
	14 foin prairie naturelle		11	24		3.1	5
			11	24	17	1.4	5.7
SEYMOUR, POLAN, HERBEIN (1987)	?	inf. A.A.	11	30		0	2
ROGERS, KRISHNAMOORTY, SNIFFEN (1987)	62 ensil. maïs	A.A. protégé	10	18		-1.3	2.2
	20 maïs		5	8		-1.3	0
	16 ttx soja		16	8		-6.6	-5.5
			16	28		0	4.4
			5	28		0	2.2
DONKIN et al. (1987)	50 ensil. maïs	A.A. protégé	15	40		4.7	8
NALSEN, BUSH, ADAMS (1987)	33 blé, 45 ensil. sorgho 3 avoine, 3 ttx coton 11 ttx soja	A.A. protégé	12	39		0	2.6
MUELLER et al. (1985)	30 ensil. maïs, 15 foin luzerne 55 concentré (mais)	A.A. protégé	15			-5	-4
CASPER et al. (1987)	30 ensil. maïs, 15 foin luzerne		15			-4	-3
	35 maïs, 19 ttx soja	A.A. protégé					
CASPER, SCHINGOETHE (1987)	45 ensil. maïs, 5 foin luzerne						
	50 concentré (orge)	A.A. protégé	15			-1.7	2.6
ILLG, SOMMERFELDT, SCHINGOETHE (1987)	30 ensil. maïs, 15 foin luzerne 40 maïs, 14 ttx soja	A.A. protégé	15			7	9
YANG, SCHINGOETHE, CASPER (1986)	30 ensil. maïs, 15 foin luzerne 22 mais, 8 ttx soja	A.A. protégé	15			-4	-3
PAPAS et al. (1984)	35 foin luzerne-brome, 55 maïs 9 ttx soja	A.A. protégé	7 à 40			0	0
PAPAS, SNIFFEN, MUSCATO (1984)	61 ensil. maïs, 16 maïs 20 ttx soja	A.A. protégé	6 à 23			-2.5	-1

de production. Dans ce cas, un apport post-ruminal de 24 à 40 g de lysine et de 11 à 16 g/j de méthionine permet d'accroître la production de protéines du lait de 4 à 8 p. 100 (tableau 1). Cet accroissement est principalement dû à une augmentation du taux protéique (1 à 2 g/kg), la production de lait variant seulement de 0 à 5 p. 100.

L'utilisation de doses plus faibles (ROGERS *et al.*, 1987) ou de ces doses avec des régimes moins riches en protéines de maïs (NALSEN *et al.*, 1987) ne permet pas des augmentations significatives (au plus 2 p. 100) de la production de protéines.

L'adjonction de thréonine à l'apport de méthionine et de lysine permet, avec des régimes très riches en maïs, d'obtenir des augmentations de la production de protéines, similaires à celles obtenues avec l'apport d'une protéine de haute valeur biologique comme la caséine (tableau 1).

A la différence des vaches, les performances laitières des brebis (allaitantes) peuvent être améliorées de plus de 30 p. 100 par l'apport de 3 g/j de méthionine protégée (BOCQUIER et THERIEZ, non publié). L'importance de la méthionine pour ces animaux s'explique sans doute par un besoin spécialement élevé en raison de la production simultanée de lait et de laine.

Conclusions et perspectives

Il est communément admis que la fourniture de certains acides aminés par le tube digestif peut être critique, chez des ruminants devant faire face à des productions élevées. Cela a été démontré à plusieurs reprises grâce à des expériences de supplémentation post-ruminale. Actuellement, bien qu'il ne soit pas encore possible de connaître précisément la quantité d'acides aminés mise à la disposition des tissus par les divers processus de la digestion, ni d'ailleurs les besoins exacts de l'organisme dans une situation donnée, on connaît maintenant les principaux acides aminés limitants. Dans certains cas bien précis, les quantités à apporter au niveau de l'intestin afin que les besoins soient couverts ont pu être estimées.

La production optimale de laine nécessite le plus souvent un complément en acides aminés soufrés. Les autres productions peuvent être limitées par l'existence d'une carence en plusieurs acides aminés. Ces facteurs limitants semblent être la lysine et la méthionine avec des rations à base de maïs. Avec les autres rations, il est encore trop tôt pour établir une liste exhaustive des acides aminés limitants avec leur ordre de priorité, car trop d'incertitudes existent concernant la composition des acides aminés qui entrent dans l'intestin. On peut uniquement conseiller d'éviter des rations trop simplifiées.

Dans un proche avenir, des informations plus précises seront disponibles. La digestion des matières azotées alimentaires sera de mieux en mieux connue. De plus, les industriels français et étrangers sont déjà susceptibles de produire des acides aminés disponibles pour l'absorption intestinale grâce à des enrobages qui ne se dégradent qu'au niveau de la caillette. Ces procédés de production seront sans doute étendus à d'autres acides aminés que la lysine et la méthionine. Cela permettra alors de réaliser des administrations post-ruminales à l'aide de ces produits associés ou non à des protéines formolées, au cours d'expérimentations conduites à grande échelle. Des recommandations plus précises pourront alors être élaborées.

Références bibliographiques

ASPLUND J.M., 1986. Somatic nutrient requirements of ruminants. Ann. Rev. Nutr., **6**, 95-112.

BLACK A.L., KLEIBER M., SMITH A.H., STEWARD D.N., 1957. Acetate as a precursor of amino acids of casein in the intact dairy cow. Biochem. Biophys. Acta., **23**, 54-59.

BRYANT D.T.W., SMITH R.W., 1982. The effect of lactation on protein synthesis in ovine skeletal muscle. J. Agri. Sci. Camb., **99**, 319-323.

CASPER D.P., SCHINGOETHE D.J., 1987. Addition of protected methionine to a barley based diet for cows during early lactation. J. Dairy Sci., **70** (suppl. 1), 111.

CASPER D.P., SCHINGOETHE D.J., YANG C.M.J., MUELLER C.R., 1987. Protected methionine supplementation with extruded blend of soybeans and soybean meal for dairy cows. J. Dairy Sci., **70**, 321-330.

CHALUPA W., SCOTT G.C., 1976. In tracer studies on non-protein nitrogen for ruminants III. Protein nutrition of growing cattle, p. 13-25. International atomic energy agency.

CHAMPREDON C., PION R., PRUGNAUD J., 1977. Influence sur l'aminoacidémie de la perfusion intraveineuse de méthionine à des chèvres laitières. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., **17**, 85-93.

CHAMPREDON C., DEBRAS Elisabeth, PION R., ARNAL M., 1986 a. Influence du début de la lactation sur les flux de méthionine chez la chèvre. Résultats préliminaires. Reprod. Nutr. Dévelop., **26** (1B), 341-342.

CHAMPREDON C., DEBRAS Elisabeth, PION R., ARNAL M., 1986 b. Métabolisme protéique chez la chèvre en début de lactation. Résultats préliminaires. Reprod. Nutr. Dévelop., **26** (2B), 617-618.

CHAMPREDON C., REMOND B., PATUREAU-MIRAND P., 1987. Influence du niveau énergétique et azoté de la ration sur l'aminoacidémie libre de vaches laitières en début de lactation. Reprod. Nutr. Développ., **26**, (1B), 301-302.

CLARK J.H., 1975. Lactational responses to postruminal administration of proteins and amino acids. J. Dairy Sci., **58**, 1178-1197.

DOKIN S.S., SWEENEY T.F., VARGA G.A., MULLER L.D., BAUMRUCKER C.R., 1987. Effects of rumen protected methionine and lysine on digestibility, nitrogen retention, milk production, milk composition, milk proteins and plasma 3 amino acids in lactating dairy cattle. J. Dairy Sci., **70** (suppl. 1), 117.

FISHER L.J., 1972. Response of lactating cows to the intravenous infusion of amino acids. Can. J. Anim. Sci., **52**, 377-384.

GRIZARD J., ATTAIX D., CHAMPREDON C., BONIN D., ARNAL M., 1988. Orientations et coordination hormonale du métabolisme protéique chez les ruminants. Reprod. Nutr. Dévelop., (sous presse).

HARPER A.E., BLOCK K.P., CREE T.C., 1983. Acides aminés à chaîne ramifiée : interrelations nutritionnelles et métaboliques. 4th Int. Symp. Protein metabolism and nutrition. Ed. INRA Publ., I (les colloques de l'INRA, n° 16), 159-181.

HILL G.M., BOLING J.A., BRADLEY N.W., 1980. Post ruminal lysine and methionine infusion in steers fed a urea-supplemented diet adequate in sulfur. J. Dairy Sci., **63**, 1242-1247.

ILLG D.J., SOMMERFELDT J.L., SCHINGOETHE D.J., 1987. Lactational and systemic responses to supplementation of protected methionine in soybean meal diets. J. Dairy Sci., **70**, 620-629.

JOURNET M., CHAMPREDON C., PION R., VERITE R., 1983. Bases physiologiques de la nutrition azotée chez les vaches laitières à forte production. Analyse critique des recommandations. 4th Int. Symp. Protein metabolism and nutrition. Ed. INRA Publ., I (les colloques de l'INRA, n° 16), 433-447.

MEPHAM T.B., 1982. Amino acid utilization by lactating mammary gland. J. Dairy Sci., **65**, 287-298.

MUELLER C.R., SCHINGOETHE D.J., YANG C.M.J., CASPER D.P., 1985. Protected methionine supplementation with extruded soybeans and soybean meal for cows during early lactation. J. Dairy Sci., **68** (suppl. 1), 116.

NALSEN T., BUSH L.J., ADAMS G.D., DEETZ L.E., 1987. Amino acid supplementation of high-wheat concentrate mixtures for dairy cows. J. Dairy Sci., **70** (suppl. 1), 117.

NIMRICK K., HATFIELD E.E., KAMINSKI J., OWENS F.N., 1970. Qualitative assesement of supplemental amino acid needs for growing lambs fed urea as sole nitrogen source. J. Nutr., **100**, 1293-1300.

OKE B.O., LOERCH S.C., DEERTZ L.E., 1986. Effects of rumen-protected methionine and lysine on ruminant performance and nutrient metabolism. J. Anim. Sci., **62**, 1101-1112.

OLDHAM J.D., LOBLEY G.E., KONIG B.A., PARKER D.S., SMITH R.W., 1980. Amino acid metabolism in lactating dairy cows early in lactation. Proc. 3rd Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition, E.A.A.P. Publ. n° 27, 458-464.

PAPAS A.M., SNIFFEN C.J., MUSCATO T.V., 1984. Effectiveness of rumen-protected methionine for delivering methionine postruminally in dairy cows. J. Dairy Sci., **67**, 545-552.

PAPAS A.M., M. VICINI J.L., CLARK J.H., PIERCE-SANDNER Sarah, 1984. Effect of rumen-protected methionine on plasma free amino acids and production by dairy cows. J. Nutr., **114**, 2221-2227.

REIS P.J., 1967. The growth and composition of wool. IV. The differential response of growth and of sulphur content of wool to the level of sulphur-containing amino acids given per abomasum. Aust. J. Biolog. Sci., **20**, 809-825.

REIS P.J., TUNKS D.A., 1978. Effects on wool growth of the infusion of mixtures of amino acids into the abomasum of sheep. J. Agric. Sci. Camb., **90**, 173-183.

RICHARDSON C.R., HATFIELD E.E., 1978. The limiting amino acids in growing cattle. J. Anim. Sci., **46**, 740-745.

ROGERS J.A., CLARK J.H., DRENDEL T.R., FAHEY G.C., 1984. Milk production and nitrogen utilisation by dairy cows infused postruminally with sodium caseinate, soybean meal, or cottonseed meal. J. Dairy Sci., **67**, 1928-1935.

ROGERS J.A., KRISNAMOORTHY U., SNIFFEN C.J., 1987. Plasma amino acids and milk protein production by cows fed rumen-protected methionine and lysine. J. Dairy Sci., **70**, 789-798.

RULQUIN H., 1986. Influence de l'équilibre en acides aminés de trois protéines infusées dans l'intestin grêle, sur la production laitière de la vache. Reprod. Nutr. Dévelop., **26** (1B), 347-348.

RULQUIN H., 1987. Détermination de certains acides aminés limitants chez la vache laitière par la méthode des administrations post-ruminales. Reprod. Nutr. Dévelop., **27** (1B), 299-300.

SCHWAB C.G., SATTER L.D., CLAY A.B., 1976. Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. J. Dairy Sci., **59**, 1254-1270.

SEYMOUR W.M., POLAAN C.E., HERBEIN J.H., 1987. Responses to abomasal casein, hydrolysed casein or methionine-lysine and protein in cows. J. Dairy Sci., **70** (suppl. 1), 118.

SMITH R.H., 1980. Comparative amino acid requirements. Proc. Nutr. Soc., **39**, 71-78.

STORM E., ORSKOV E.R., 1984. The nutritive value of rumen microorganisms in ruminants 4. The limiting amino acids of microbial protein in growing sheep determined by a new approach. Brit. J. Nutr., **52**, 613-620.

STRASIA C.A., MARTIN J.J., GILL D.R., OWENS F.N., 1986. Ruminal escape methionine and lysine for finishing steers. J. Anim. Sci., **63** (suppl. 1), 406.

WAKELING A.E., LEWIS D.D., ANNISON E.F., 1970. The amino acid requirement of ruminants. Proc. Nutr. Soc., **29**, 60A.

YANG C.M.J., SCHINGOETHE D.J., CASPER D.P., 1986. Protected methionine and heat-treated soybean meal for high producing dairy cows. J. Dairy Sci., **69**, 2348-2357.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 105-112

Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants

L. GUEGUEN, Michelle DURAND, F. MESCHY

INRA, Centre de Recherches de Jouy, Station de recherches de nutrition, 78350 Jouy-en-Josas.

Le but de la présente mise au point n'est pas de refaire une revue complète sur les besoins minéraux des ruminants (voir INRA, 1978) ni de présenter de façon exhaustive tous les travaux effectués sur ce sujet depuis 1978. Dans la mesure où les valeurs adoptées en 1978 ne sont pas profondément remises en cause, nous nous limiterons à apporter les quelques précisions ou modifications qui nous semblent utiles, (bovins de races à viande, vaches à haut potentiel) et les justifications qui s'imposent en présence de controverses internationales (besoins en phosphore et en calcium publiés par l'Agricultural Research Council en 1980). De plus, plusieurs mises au point spécifiques ont été publiées au cours de ces dernières années sur la justification des bases théoriques adoptées pour le calcium (GUEGUEN 1982) et le phosphore (GUEGUEN 1982 et GUEGUEN et DURAND 1983), sur les particularités de la nutrition minérale des vaches à haut potentiel de production (BOUCHET et GUEGUEN 1983), sur les besoins minéraux des bovins de races à viande (GUEGUEN 1985 et 1986).

La publication par l'ARC en 1980 de recommandations minimales d'apport en phosphore et en calcium parfois deux fois plus faibles que celles que nous préconisons (et que préconisait le rapport ARC de 1965) a suscité de nombreux travaux intéressants sur ce sujet et plusieurs mises au point de notre part. Cependant, ce débat scientifique a perdu de son intérêt depuis la publication des conclusions d'un groupe de travail britannique (TODD 1984) qui n'accepte pas les valeurs adoptées par l'ARC en 1980 et conseille de s'en tenir aux recommandations de 1965, plus proches des nôtres.

Enfin, cette mise au point tient également compte des plus récentes évaluations factorielles d'origine américaine (NRC 1978) et soviétique (ANNENKOV 1979).

I. La méthode factorielle d'évaluation des besoins alimentaires

Pour les éléments minéraux, notamment le phosphore et le calcium, il existe, selon le but poursuivi, plusieurs degrés de besoin.

Le premier degré, le plus bas, correspond au **seuil de carence** au dessous duquel apparaissent des troubles pathologiques. A un second degré, plus élevé, on peut considérer que le besoin est l'apport alimentaire qui évite toute baisse de production (croissance, lait, fertilité) pendant un temps donné. C'est la définition souvent retenue en pratique car un apport supérieur à ce **besoin minimum apparent** ne se traduit pas par un effet visible sur l'animal. Cependant, cette notion de besoin est trop restrictive car elle ne tient pas compte de l'état des réserves minérales osseuses. Un apport phospho-calcique trop faible conduit à une déminéralisation osseuse qui n'aura aucune répercussion à court terme sur les performances de l'animal. Notre conception du besoin est donc celle qui vise à **préserver l'intégrité du squelette**, c'est-à-dire à assurer un bilan (entrées-sorties) nul chez l'animal adulte et un bilan suffisamment positif chez l'animal en croissance.

Il va de soi que le besoin sera plus faible si l'on accepte à long terme chez l'adulte une certaine déminéralisation osseuse (par exemple après plusieurs lactations chez la vache laitière) ou chez le jeune une plus faible minéralisation osseuse. Cela aussi est source de divergences dans l'estimation des besoins.

Puisqu'il n'est pas possible d'apprécier sur l'animal vivant l'influence du régime alimentaire sur le degré de minéralisation osseuse, il est évident que les méthodes globales d'évaluation

du besoin qui ne prennent en compte que des critères zootechniques (indice de consommation, gain de poids, production laitière...) ne peuvent convenir.

Seule la méthode dite factorielle est satisfaisante. Elle consiste à déterminer :

— les pertes inévitables (ou souhaitables) : lait, fœtus, pertes minimales endogènes dans les fèces et dans l'urine (en général très faible chez les ruminants, mais avec une forte variabilité individuelle chez les ovins). Ce sont les besoins nets de lactation, de gestation et d'entretien ;
— la quantité qui doit être retenue dans l'organisme pour assurer une bonne minéralisation du gain de poids. C'est le besoin net de croissance ;
— la proportion de l'apport alimentaire qui est absorbable par l'intestin, c'est-à-dire qui est disponible pour satisfaire les besoins nets. Il s'agit du coefficient d'absorption réelle (CAR), auparavant appelé CUDr.

Ces différentes étapes seront examinées successivement, l'accent étant particulièrement mis sur les deux principales causes des divergences internationales : le besoin d'entretien en phosphore et l'absorbabilité du calcium.

Cependant, couvrir au jour le jour les besoins nets de l'animal peut ne pas suffire. Le fonctionnement optimal du rumen a ses propres exigences en minéraux pour le maintien du pH et pour les besoins propres des microorganismes. De plus, des considérations physiologiques ou pathologiques peuvent conduire à modifier ou à niveler les apports théoriques calculés, par exemple pour tenir compte du cycle physiologique de la femelle laitière.

II. Les besoins nets en minéraux majeurs

1. Besoins nets d'entretien

1.1. Phosphore

Nous avions adopté en 1978 les valeurs de 25 mg de P par kg de poids vif et par jour (dont 2 mg dans l'urine) pour les bovins et de 30 mg par kg et par jour (dont 2 mg dans l'urine) pour les ovins. Ces pertes minimales correspondent à l'excrétion inévitable de P qui provient principalement du phosphore salivaire non réabsorbé.

Il est bien connu que le phosphore fécal endogène augmente de façon linéaire avec le phosphore ingéré et qu'il est beaucoup plus élevé quand le régime est constitué de fourrages grossiers, c'est-à-dire quand la sécrétion salivaire est forte. Par contre, quand le régime est concentré, la perte fécale endogène est plus faible et l'excrétion urinaire devient importante. Cet effet de la nature du régime sur la répartition entre urine et fèces de l'excès de P absorbé a été confirmé par plusieurs travaux sur le mouton (SCOTT *et al.*, 1984, BRAITHWAITE 1984, SCOTT et BUCHAN 1985, FIELD *et al.*, 1985). Chez certains moutons la perte urinaire est forte, ce qui est une caractéristique de l'animal, d'origine génétique, et correspond à un seuil rénal diminué ou à une capacité d'absorption plus grande. Dans ce cas la perte endogène fécale est plus faible mais le «surplus» éliminé par l'urine doit alors être considéré comme une perte inévitable correspondant à un besoin d'entretien.

Seule la partie incompressible des pertes endogènes doit être assimilée au strict besoin net d'entretien. Nous considérons, avec BRAITHWAITE (1985), que cette perte minimale est celle obtenue quand l'apport alimentaire de P permet juste de couvrir les besoins et non pas, comme le supposent certains auteurs (ARC 1980, GRACE 1980, FIELD *et al.*, 1982), quand l'apport alimentaire est nul. Ainsi, la valeur très faible de 12 mg par kg et par jour adoptée par l'ARC (1980) est obtenue par extrapolation théorique à P ingéré nul. Des pertes endogènes fécales minimales comprises entre 25 et 30 mg par kg et par jour ont été récemment confirmées dans des conditions alimentaires et physiologiques normales sur le mouton (BOXEBELD *et al.*, 1983, BRAITHWAITE 1984, 1985, 1986) et la chèvre (ADELOYE et AKINSOYINU, 1985). Une compilation des nombreux résultats de bilans apparents effectués sur vache laitière (KEMP et GEURINK, 1978, CATHCART *et al.*, 1983) et un calcul indirect de la perte endogène fécale minimale à l'équilibre, c'est-à-dire pour un bilan nul (BOUCHET et GUEGUEN 1983), aboutit aussi à 25-28 mg par kg et par jour. Toutes les valeurs inférieures à 20 mg par kg et par jour citées dans les travaux antérieurs à 1978 ou plus récents (GRACE 1980, FIELD *et al.*, 1982, BOXEBELD *et al.*, 1983, MESCHY et GUEGUEN 1987) ont été obtenues sur des animaux manifestement carencés en P et se trouvant dans des conditions physiologiques anormales : bilan négatif de P et Ca, baisse de l'appétit et de la phosphatémie, parfois troubles osseux.

La valeur de 12 mg/kg/j adoptée par l'ARC en 1980 est donc beaucoup trop faible et a été refusée en France (GUEGUEN 1982, GUEGUEN et DURAND 1983) et en Grande-Bretagne (BRAITHWAITE 1984, TODD 1984). Il est d'ailleurs probable que la prochaine version du rapport ARC adoptera un besoin d'entretien en phosphore très supérieur, du moins pour les ruminants adultes consommant des fourrages (FIELD 1983). Il est en effet possible qu'une valeur plus faible doive être adoptée pour les jeunes animaux recevant une ration très concentrée ; ainsi, le besoin net d'entretien ne dépasse probablement pas 10 mg/kg/j chez le veau recevant un aliment d'allaitement.

Nous maintenons donc les valeurs moyennes retenues en 1978 mais, considérant que la perte minimale endogène peut augmenter légèrement avec la quantité de P absorbée (BRAITHWAITE 1985) ou avec les besoins dans le cas des fortes laitières (BOUCHET et GUEGUEN 1983), nous faisons varier ce besoin net d'entretien de 23 à 32 mg de P par kg et par jour chez la vache produisant de 5 à 50 kg de lait par jour.

1.2. Calcium

Les valeurs adoptées en 1978 étaient de 18 et 20 mg par kg de poids vif et par jour (dont 2 mg dans l'urine) respectivement pour les bovins et les ovins et n'ont pas été remises en cause par des travaux plus récents. Elles sont même confirmées par plusieurs expériences de BRAITHWAITE sur mouton et par les résultats de YOON (1980) sur des vaches Holstein fortes productrices et à plusieurs niveaux d'apport de calcium. Il est également confirmé que la perte fécale endogène de Ca, contrairement à celle de P, ne varie pas avec le calcium ingéré. Par contre, les résultats compilés par BRAITHWAITE (1982, 1983a) montrent bien que l'excrétion endogène fécale de Ca augmente avec la quantité de matière sèche consommée. Nous avons donc adopté une perte minimale de 15 mg par kg par jour et, dans le seul cas de la vache laitière, une augmentation de 1 mg par kg par jour pour chaque kg supplémentaire de matière sèche consommée.

1.3. Magnésium

La perte fécale endogène minimale de 3 mg par kg et par jour chez les bovins et de 3,5 mg par kg et par jour chez les ovins n'est pas remise en cause, mais le problème se pose de savoir si l'on doit aussi considérer une perte urinaire minimale de 3 ou 4 mg par kg et par jour, ce qui conduirait à un besoin net d'entretien de 6 à 8 mg par kg et par jour (KEMP et GEURINK 1978, ANNENKOV 1979). Bien que la perte urinaire soit négligée dans les valeurs retenues par l'ARC (1980) et le NRC (1978), nous adoptons pour toutes les espèces une perte minimale journalière totale de 5 mg par kg de poids vif.

1.4. Potassium, sodium, chlore

Respectivement pour les bovins et les ovins, nous avions adopté des pertes minimales de 50 et 20 mg de potassium par kg et par jour et de 10 et 8 mg de sodium par kg et par jour. Cependant, ces valeurs théoriques résultaient d'un petit nombre de travaux et étaient critiquables. En fait, les besoins ainsi calculés étaient inférieurs aux apports pratiques recommandés.

Selon l'ARC (1980), la perte fécale endogène de K augmente avec la quantité de M.S. ingérée et varierait de 30 à 70 mg par kg et par jour. De plus, environ 35 mg par kg et par jour sont éliminés par l'urine, dont une partie correspondrait à une perte inévitable.

Nous adoptons donc, en accord avec ANNENKOV (1979) pour les ovins, les valeurs de 70 mg par kg et par jour pour les bovins et de 50 mg pour les ovins.

Pour le sodium, la perte inévitable chez les bovins et les ovins serait de 15 mg par kg et par jour, dont 10 mg par l'urine. En effet, la valeur de 20 mg de perte obligatoire dans l'urine citée par l'ARC (1980) serait très surévaluée (TODD 1984).

Le besoin d'entretien en chlore est supérieur de 50 % environ au besoin en sodium.

2. Besoins nets de gestation

Les valeurs adoptées en 1978 restent inchangées pour Ca et P, soit pour la vache en moyenne 6 g de Ca et 4 g de P par jour pendant les trois derniers mois de gestation et, pour la brebis (et la chèvre), selon le nombre de fœtus, de 0,7 à 1,5 g de Ca et de 0,4 à 0,9 g de P par jour pendant les six dernières semaines. Les quantités journalières correspondantes de Mg, K et Na fixées sont plus imprécises mais sont environ de 0,14 g de Mg, 1 g de K et 1,3 g de Na chez la vache et de 0,03 g de Mg, 0,2 g de K et 0,3 g de Na chez la brebis (et la chèvre).

3. Besoins nets de lactation

La composition minérale des laits de vache, de brebis et de chèvre est bien connue. Cependant, sachant que la race et le niveau de production influent sur les taux de certains minéraux, notamment le calcium, il convient d'adapter les valeurs moyennes retenues aux conditions nationales d'élevage.

Aucune modification n'est apportée aux teneurs adoptées pour les laits de brebis et de chèvre. Par contre, pour le lait de vache, nous considérons que le lait moyen actuel contient 3,3 % de matières azotées et donc 1,20 g de Ca par kg (au lieu de 1,25 g). La teneur en Ca du lait varie de 1,1 g par kg environ pour la race Holstein à 1,3 g par kg pour la race Normande.

Parallèlement, la teneur moyenne en K du lait de vaches fortes productrices serait plus élevée : 1,6 à 2,0 g par kg (BOUCHET et GUEGUEN 1983).

4. Besoins nets de croissance

Les revues publiées depuis 1978 sur la composition minérale du gain de poids et ses variations avec l'âge, la vitesse de croissance ou le degré d'engraissement, ne conduisent pas à une remise en cause des valeurs utilisées (INRA 1978) pour le calcul du besoin de croissance des bovins, ovins et caprins.

Les besoins nets moyens, par kg de gain de poids vif, sont de 13 g de Ca, 7 g de P, 0,4 g de Mg, 1,6 g de K, 1,4 g de Na et 1 g de Cl pour des bovins entre 150 et 600 kg, et de 9,5 g de Ca, 5,5 g de P, 0,4 g de Mg, 1,8 g de K, 0,9 g de Na et 0,7 g de Cl pour des ovins ou caprins entre 10 et 50 kg.

Ce besoin net de minéralisation du gain diminue chez les animaux lourds (bovins de plus de 600 kg et ovins de plus de 50 kg).

III. L'absorbabilité des éléments minéraux

1. Calcium

Puisque le CAR de Ca diminue de façon presque linéaire lorsque la quantité de Ca ingérée augmente et qu'il dépend étroitement des besoins de l'animal, il est difficile de déterminer expérimentalement la valeur correspondant à l'absorbabilité réelle du calcium. Considérant que l'animal peut adapter parfaitement son absorption intestinale à ses besoins et absorber 100 % du calcium absorbable, l'ARC (1980) a adopté la valeur maximale de 68 % obtenue quand l'apport alimentaire est proche des besoins nets. Cette valeur est très supérieure (double pour les adultes) à celles que nous avions retenues en 1978 (tableau 1), et cela suffit à expliquer les très faibles besoins alimentaires calculés par l'ARC.

Nous avons déjà contesté ce mode de raisonnement (GUEGUEN 1982, BOUCHET et GUEGUEN 1983), sachant que la disponibilité du calcium des fourrages peut être un facteur limitant (WARD *et al.*, 1979, WARD et HARBERS 1982), que l'adaptation de la capacité d'absorption de l'intestin n'est jamais parfaite et surtout que, dans la pratique de l'alimentation, il n'existe pas de ration à base de fourrages assez pauvre en calcium pour permettre une telle adaptation. En fait, plusieurs résultats récents obtenus sur agneau (BRAITHWAITE 1981, BOXEBELD *et al.*, 1983, THOMPSON et GELMAN 1984) sur vache laitière (KEMP et GEURINK 1978, YOON 1980) et sur chèvre laitière (HOVE 1984) ont montré que cette adaptation de l'absorption calcique à un apport faible, mais voisin de besoins nets élevés, n'était pas suffisante et que, dans ces conditions, le CAR de Ca ne dépassait pas 40 %. L'exploitation que nous avons faite (BOUCHET et GUEGUEN 1983) des données de KEMP et GEURINK (1978) correspondant à cinq niveaux d'apport calcique (de 31 à 130 g/j) et à trois classes de production laitière (de 15 à plus de 30 kg/j) montre bien que le CAR maximum de Ca varie entre 33 et 42 %, même quand le bilan calcique est négatif, c'est-à-dire quand la demande de Ca est forte.

Les apports de Ca calculés par l'ARC (1980) en utilisant un CAR de 68 % ont également été contestés par BRAITHWAITE (1983a) qui démontre sur des brebis que le remplacement des réserves osseuses mobilisées pendant la gestation et la lactation exige des apports bien supérieurs.

Enfin, l'analyse des données bibliographiques faite par ANNENKOV (1979) et ses propres résultats sur bovins et ovins le conduisent aussi à adopter un CAR de Ca de 30 à 40 % pour le calcul des apports recommandés dans le cas des ruminants adultes.

Les valeurs adoptées en 1978 (tableau 1) sont donc maintenues : elles diminuent avec l'âge de 70 à 30 % chez les bovins et de 50 à 30 % chez les ovins (et caprins).

Il est possible que, dans certaines conditions physiologiques (lactation) ou alimentaires (forte proportion de calcium minéral ajouté) le CAR de Ca soit plus élevé et atteigne 40, voire 45 %. Il en est alors tenu compte au niveau des recommandations pratiques puisque les apports sont plafonnés pour les très fortes productions laitières.

Enfin, le passage des besoins alimentaires obtenus par le calcul factoriel aux apports pratiques recommandés nécessite l'emploi d'une marge de sécurité tenant compte des variations individuelles. Cette marge de sécurité est introduite, pour tous les éléments minéraux, au niveau du facteur le plus variable qui est le coefficient d'absorption. Cela constitue une raison supplémentaire de prudence dans l'adoption des valeurs moyennes du CAR.

TABLEAU 1

Valeurs moyennes du CAR du calcium et du phosphore adoptées pour le calcul des apports alimentaires recommandés

BOVINS	Ca	P	OVINS	Ca	P
Bovins en croissance			Ovins en croissance		
100 kg	70	80	10 kg	50	80
200 kg	55	75	20 kg	40	75
300 kg	50	65	30 kg	35	70
400 kg	45	55	40 kg	30	65
500 kg	40	55	50 kg	30	60
600 kg	35	55			
Bovins adultes Vaches en gestation	30	55	Ovins adultes Brebis en gestation	30	60
Vaches en lactation			Brebis en lactation		
début lactation	35	60	début lactation	35	65
fin lactation	30	55	fin lactation	30	60

2. Phosphore

Contrairement au CAR du calcium, celui du phosphore fait l'objet d'un large consensus international et les fortes valeurs de 70 à 85 % que nous avions adoptées chez les jeunes animaux (tableau 1) ont été bien confirmées par des travaux récents sur l'agneau (BOXEBELD *et al.*, 1983, FIELD et KAMPHUES 1983, FIELD *et al.*, 1984, FIELD *et al.*, 1985, BRAITHWAITE 1984 et 1985). Dans le cas de la femelle en gestation ou en lactation, les travaux sur brebis (BRAITHWAITE 1986) et sur chèvre (ADELOYE et AKINSOYINU 1985) conduisent à des valeurs plus faibles (55 à 65 %) qui correspondent bien à celles que nous avions adoptées en 1978.

Il n'y a donc pas d'ambiguité sur le CAR moyen du phosphore et les valeurs retenues tiennent également compte d'une faible marge de sécurité.

3. Magnésium

Nous avions adopté en 1978 pour les bovins des CAR moyens de 50 % au poids de 100 kg, de 40 % à 200 kg, de 30 % à 300 kg et de 25 % à plus de 400 kg. Aucun résultat récent ne permet de remettre en cause ces valeurs moyennes qui sont en bon accord avec celles utilisées par l'ARC (1980) et ANNENKOV (1979). Le CAR de Mg n'est pas plus élevé chez les ovins, des différences considérables ayant cependant été enregistrées entre espèces fourragères, avec des valeurs de 22 à 48 % (MOSELEY et GRIFFITHS 1984, THOMPSON *et al.*, 1984).

Dans le cas de la vache laitière en période de pâturage d'herbe jeune une plus grande marge de sécurité serait souhaitable. Ainsi, pour établir les recommandations alimentaires de l'ARC, TODD (1984) propose un CAR de 17 % pour Mg.

Contrairement à Ca et P, Mg du lait n'est pas très bien absorbé chez le veau et son CAR diminuerait de 70 % au poids de 50 kg à 20 % au poids de 100 kg (ARC 1980).

4. Potassium, sodium, chlore

A défaut de données plus précises sur l'absorbabilité de ces électrolytes, nous avions adopté en 1978 un CAR très élevé de 90 à 100 %. D'autres auteurs (ARC 1980) considèrent que l'absorbabilité de ces éléments est totale, hypothèse critiquée par TODD (1984). En fait, pour tenir compte de l'apport exclusif du potassium par les végétaux, il est prudent d'adopter un CAR de 80 %, celui de Na et de Cl étant de 90 %.

IV. Les besoins alimentaires

L'application stricte de la méthode factorielle, qui consiste à multiplier la somme des besoins nets par 100/CAR, aboutit aux besoins alimentaires, exprimés en grammes par jour. Les apports recommandés définis plus loin peuvent être exprimés différemment (par rapport à la matière sèche ingérée ou à l'unité d'encombrement) avec une approximation supplémentaire, ou tiennent compte d'autres considérations : besoins propres des microorganismes du rumen, cycle physiologique, prévention de troubles métaboliques, etc...

1. Calcium et phosphore

Les valeurs publiées en 1978 pour les bovins, ovins et caprins en croissance et engraissement sont inchangées. Dans le cas de la vache laitière, les quelques retouches faites sur les besoins nets (entretien, lait) et sur le CAR conduisent à des valeurs légèrement plus faibles jusqu'à une production laitière de 35 kg/j, puis nettement supérieures pour les fortes laitières. Cependant, ces besoins demeurent inférieurs à ceux que nous avions définis (BOUCHET et GUEGUEN, 1983) pour les vaches à haut potentiel.

2. Magnésium, potassium, sodium

Par rapport aux valeurs retenues en 1978, les besoins d'entretien en Mg, K et Na ont été augmentés pour tenir compte d'une perte inévitable dans l'urine. Les besoins alimentaires correspondants sont donc supérieurs, particulièrement pour le potassium. Les nouvelles valeurs calculées sont indiquées dans le tableau 2 pour les bovins et dans le tableau 3 pour les ovins.

TABLEAU 2

Besoins alimentaires des bovins en magnésium, potassium et sodium (en g par jour) (entretien + croissance ou lactation)

Poids vif, kg		Mg	K	Na
200	Croissance*	3,5 - 4,5	20	5
300	"	5,5 - 7,0	28	7
400	"	8,5 - 10,0	37	9
500	"	10,5 - 11,5	46	10
600	Vache à l'entretien	12	50	11
600	+ 15 kg lait	20	80	18
600	+ 30 kg lait	26	110	25
600	+ 45 kg lait	34	140	32

* valeurs indiquées pour des gains journaliers de 0,7 et 1,5 kg

TABLEAU 3

Besoins alimentaires des ovins en magnésium, potassium et sodium (en g par jour) (entretien + croissance ou lactation)

Poids vif, kg		Mg	K	Na
20	Croissance*	0,4 - 0,6	1,5 - 2,0	0,4 - 0,6
30	"	0,7 - 0,9	2,1 - 2,6	0,6 - 0,8
40	"	1,0 - 1,3	2,7 - 3,2	0,8 - 1,0
50	"	1,2 - 1,5	3,3 - 3,8	1,0 - 1,2
60	Brebis gestation	1,5	4	1,5
60	1er et 2ème mois lactation**	1,7 - 2,5	5 - 7	1,5 - 2,0
60	Suite lactation	1,7	4 - 5	1,5

* pour des gains journaliers de 100 et de 300 g

** selon le gain de poids de la portée

V. Besoins en macro-éléments minéraux pour la digestion microbienne au niveau du rumen

L'importance du soufre et des autres macro-éléments pour l'optimisation des fermentations dans le rumen a été soulignée récemment dans plusieurs articles (DURAND et KAWASHIMA 1980, DURAND 1984, KANDYLIS 1984, MACKIE et THERON 1984, SMITH 1984, DURAND et KOMISARCZUK 1988). Les macro-éléments exercent à la fois un rôle sur le métabolisme propre des microorganismes en tant que composants cellulaires et activateurs des enzymes et sur certaines propriétés physico-chimiques de l'environnement microbien (pouvoir tampon et pression osmotique du milieu, taux de renouvellement de la phase liquide).

En ce qui concerne les besoins propres des microorganismes, les éléments les plus importants au plan quantitatif sont le phosphore et le soufre. Comme dans le cas du besoin en azote fermentescible, ces éléments devraient être apportés en fonction de la quantité de matière organique potentiellement digestible dans le rumen (MODR) (DURAND et KOMISARCZUK 1988). En admettant qu'en moyenne MODR = 0,65 MOD, les besoins en éléments disponibles pour la digestion microbienne peuvent être exprimés par rapport à MOD de l'aliment. Ce mode d'expression est préférable à ceux préalablement utilisés tels que les concentrations optimales dans le milieu de rumen ou les concentrations dans la matière sèche de l'aliment, qui ne sont qu'indicatifs.

Les besoins en P disponible ont été récemment estimés à l'aide de cultures continues de microorganismes de rumen (KOMISARCZUK *et al.*, 1987). Dans ces conditions, les besoins pour la protéosynthèse s'élèvent à 2,8-3 g/kg MOD, tandis que ceux pour la cellulolyse sont nettement supérieurs : 4,5 g/kg MOD. *In vivo*, le retour de P salivaire assure généralement, à lui seul, la couverture de ces besoins sauf lorsque les apports de P alimentaire sont inférieurs aux présentes recommandations pour l'animal. Dans ce cas, le retour de P salivaire décroît et la cellulolyse et la protéosynthèse microbiennes peuvent être affectées (DURAND *et al.*, 1982, DURAND *et al.*, 1983, BREVES et HÖLLER 1987, MESCHY *et al.* non publié). Les mesures de P endogène montrent alors que la valeur optimale doit se situer au-dessus de 5 g/kg MOD. En ce qui concerne les animaux en lactation, du fait de l'excrétion de P dans le lait, le retour de P salivaire risque d'être inférieur à cette valeur si les apports de P sont inférieurs à ceux recommandés pour l'animal (environ 5,4-5,6 g P alimentaire/kg MOD pour une vache produisant entre 20 et 40 kg de lait par jour). Ainsi, avec des apports correspondant aux valeurs de l'ARC (1980) les retours salivaires n'étaient que de 4,2 g P/kg MOD chez des brebis en lactation contre 6,4 g P/kg MOD chez les mêmes animaux en gestation (BRAITHWAITE 1983b). La digestion microbienne ruminale peut ainsi être réduite chez des animaux en lactation recevant des quantités limitées de P.

L'incorporation de soufre dans les microorganismes du rumen, essentiellement dans les acides aminés soufrés des protéines, correspond à 1,3 g S/kg MOD en prenant une valeur moyenne de 0,06 pour le rapport S/N des microorganismes et une valeur moyenne du rendement de la protéosynthèse de 32 g N/kg MOD. En tenant compte des pertes de sulfures au niveau du rumen, qui peuvent représenter jusqu'à 50 à 80 % de la quantité de soufre incorporée, et du recyclage qui est relativement faible, on peut calculer que le besoin est d'environ 2 g S disponible/kg MOD (SMITH 1984, DURAND et KOMISARCZUK 1988). De nombreuses expériences montrent un effet positif sur la protéosynthèse et la cellulolyse de régimes contenant des proportions élevées d'ensilage de maïs, de pailles traitées ou de fourrage de fétuque élevée ou d'herbes tropicales. Dans ces derniers cas la disponibilité du soufre apparaît relativement faible. Pour les autres aliments on peut généralement considérer que la disponibilité du soufre est voisine de celle de l'azote, ce qui permet de calculer un apport correspondant à 2 g S disponible/kg MOD. Il est fort courant que les aliments qui sont déficitaires en azote fermentescible le soient également en soufre. Dans la pratique, si l'on ne dispose pas de données précises sur les teneurs en soufre des aliments, on pourra, comme l'ont également recommandé récemment EL FOULY et LENG (1987), apporter le soufre par rapport à l'azote non protéique dans un rapport S:N = 0,1. L'apport de soufre devrait, en outre, être étalé dans le temps afin d'éviter des pertes importantes de sulfure au niveau du rumen.

En ce qui concerne les besoins en soufre de l'animal entier, GUEGUEN (1978) conseillait un apport de 1,5 g de S total par kg MS de l'aliment. ANNENKOV (1979) préconise des apports

plus élevés pour des ovins avec pousse de laine, soit de l'ordre de 2,2-2,4 g S/kg MS. De tels apports couvriraient également dans la majorité des cas les besoins des microorganismes.

Les besoins propres des microorganismes en Mg, Ca, Na et K ont été suggérés par DURAND et KAWASHIMA (1980). Depuis lors, il n'y a pas eu d'informations plus précises concernant ces estimations. Par contre, ces éléments sont fréquemment utilisés pour manipuler les fermentations dans le rumen (DURAND et KOMISARCZUK 1988). Les sels de Ca permettent d'enrayer la dépression de la cellulolyse due à un apport élevé de matière grasse dans le régime (PALMQUIST *et al.*, 1986). Des tampons minéraux, tels que le bicarbonate de sodium seul ou en mélange avec de la magnésie et du carbonate de calcium, empêchent la baisse importante du pH qui accompagne généralement la distribution en quantité importante de concentrés. BOUCHET et GUEGUEN (1983) considèrent qu'une distribution de tampons équivalente à 1-1,5 % de bicarbonate de Na dans le régime est souhaitable pour les vaches laitières dont les rations se composent de plus de 70 % de concentrés ou de 60 % d'ensilage de maïs ou de fourrage finement haché.

VI. Apports minéraux recommandés

1. Mode d'expression

Dans un but de simplification, les besoins alimentaires précédemment exprimés en g par jour peuvent aussi être rapportés à la ration sèche. Cependant, ce mode d'expression ajoute une approximation supplémentaire car le calcul repose sur une hypothèse d'ingestion moyenne alors que les quantités consommées sont susceptibles de variations : une vache laitière peut, par exemple, produire 20 kg de lait en ingérant 16 à 18 kg de MS, ce qui conduit dans ce cas à des recommandations allant de 6,4 à 7,2 g de calcium par kg de MS. L'expression du besoin en terme de concentration d'un élément dans la matière sèche totale de la ration est donc à réserver aux périodes (et aux rations) où l'ingestion est relativement régulière. Cette méthode permet aussi la comparaison rapide de la valeur minérale des divers aliments des ruminants. Des valeurs moyennes pour P et Ca sont données par GUEGUEN *et al.* (1988). Pour Mg, Na et S les recommandations de 1978 restent valables ; en revanche, la teneur souhaitable en K doit être portée à 6-7 g/kg de MS dans le cas des vaches laitières. Pour éliminer l'effet de la variabilité de l'ingestion il est également possible d'exprimer le besoin minéral en rapport aux unités d'encombrement mais cette approche n'est pas envisageable pour les femelles laitières en production car leurs besoins minéraux, phosphocalciques notamment, s'accroissent plus rapidement que leur capacité d'ingestion, particulièrement en début de lactation. En revanche, les besoins en P et Ca ainsi exprimés pour les bovins à viande sont pratiquement constants pour une vitesse de croissance donnée et varient très peu avec le poids de l'animal (GUEGUEN 1986).

Vitesse de croissance (g/jour)	**Phosphore** (g/UEB)	**Calcium** (g/UEB)
600	2,5 - 3,0	3,5 - 4,0
1200	3,0 - 3,5	5,5 - 6,0

2. Stratégie

Quel que soit le mode d'expression choisi, il représente des besoins «au jour le jour» ; or, les recommandations proposées ne doivent pas être considérées comme des normes absolues et intangibles : il est nécessaire de tenir également compte des systèmes alimentaires et des particularités physiologiques des animaux placés dans une situation de production donnée afin de raisonner l'alimentation minérale en termes de stratégie d'apport.

2.1. Cas du troupeau allaitant

Certaines zones d'élevage extensif se caractérisent par des variations saisonnières parfois marquées des ressources fourragères ; cela peut conduire à limiter les performances des animaux pendant ces périodes critiques. Le problème est alors d'évaluer les conséquences de cette situation et, en particulier pour les minéraux, d'apprécier le seuil minimum qui ne présente pas de risque à moyen terme pour la santé des animaux et la reprise ultérieure des productions. Pour une croissance nulle, ce besoin est de l'ordre de 2,5 à 3 g de Ca et de P par kg de MS (GUEGUEN 1986). Si la majorité des rations de base hivernales contiennent assez de Ca, il n'en est pas de même pour P ; quelles conséquences peut-on redouter d'une insuffisance saisonnière en phosphore ?

Deux situations peuvent se présenter :

— Le besoin en calcium n'est pas couvert

Cette situation peut se rencontrer avec des ensilages de maïs pauvres en Ca et, dans le cas des vaches allaitantes, la chute de la calcémie entraîne alors la sécrétion de parathormone qui se traduit par une mobilisation du calcium et du phosphore osseux. Aucun effet ne sera observé à court terme mais il sera absolument nécessaire de restaurer ultérieurement les réserves minérales osseuses.

— L'apport de calcium est satisfaisant

Dans ce cas, la mobilisation osseuse n'intervient pas, l'hypophosphatémie entraîne une chute de l'appétit et par conséquent des performances. C'est la situation la plus fréquente en production de viande et seule une complémentation en phosphore permet de pallier ces inconvénients.

2.2. Cas des femelles laitières

Pour ces animaux, l'alimentation minérale revêt une importance particulière dans deux situations précises : le déroulement de la lactation et la prévention de certains troubles métaboliques tels que l'hypocalcémie vitulaire et la tétanie d'herbage.

— Lactation

Quel que soit le niveau alimentaire de calcium, les femelles laitières sont dans l'incapacité d'en absorber suffisamment pour satisfaire leurs besoins de début de lactation (BRAITHWAITE 1983a). Il s'ensuit une mobilisation des réserves minérales osseuses à ce stade physiologique. Il y a bien une adaptation de la capacité d'absorption à une forte demande calcique, mais ce phénomène est décalé dans le temps et ne devient marqué que vers la mi-lactation.

En revanche, le CAR de P augmente en fin de gestation et en début de lactation ; le supplément de P absorbé n'est pas utilisé pour les productions mais est directement excrété dans les fèces et l'urine (BRAITHWAITE 1983b). En fait, le besoin en phosphore pour la lactation est couvert par P osseux mobilisé (avec Ca).

A partir du milieu de la lactation le phosphore alimentaire est mieux utilisé pour la production de lait, ce qui peut s'expliquer par la diminution de la perte minérale osseuse et par la reconstitution des réserves si l'apport de Ca est suffisant.

Ces observations montrent la difficulté de couvrir les besoins phosphocalciques des femelles laitières en fin de gestation et surtout en début de lactation par l'apport alimentaire et la nécessité d'admettre une certaine fonte osseuse, à la condition impérative de reconstituer les réserves minérales pendant la période où l'absorption du calcium et la rétention du phosphore alimentaire sont plus favorables, c'est-à-dire dans la deuxième partie de la lactation. Il faut donc raisonner l'apport minéral sur l'ensemble de la lactation. La prise en compte de ces particularités physiologiques conduit à proposer des recommandations d'apport inférieures aux besoins alimentaires en début de lactation et supérieures en fin de lactation. Comme il n'est pas réaliste d'envisager des recommandations mensuelles, cette adaptation a été répercutée sur le niveau de production (GUEGUEN *et al.*, 1988). Ces valeurs calculées à partir de courbes types de lactation sont en bon accord avec l'extrapolation, pour des niveaux de production élevés, des recommandations de 1978. Ces recommandations concernent des femelles d'un niveau de production compris entre 5000 et 9000 kg environ : il est possible qu'elles soient un peu trop élevées pour un niveau de production sensiblement inférieur. De même, dans le cas de niveaux de production très élevés (> 10000) il est difficile d'éviter une certaine fonte osseuse après plusieurs lactations.

— Prévention de troubles métaboliques

La fièvre vitulaire apparaît surtout chez les fortes laitières des espèces bovine et caprine et intervient dans les premiers jours de lactation lorsque l'animal doit faire face à une demande calcique brutale et élevée. Les animaux atteints présentent une hypophosphatémie et une hypocalcémie marquées qui résultent d'une sécrétion anormale de calcitonine échappant temporairement au contrôle de la calcémie et qui s'oppose à la mobilisation des réserves minérales osseuses évoquée plus haut.

Il y a là une opposition entre la reconstitution des réserves osseuses et la stimulation de l'ostéolyse indispensable au début de la lactation.

Il faut également noter une sensibilité individuelle très variable ; dans le cas d'animaux à risque, on peut envisager de restreindre l'apport calcique recommandé d'une dizaine de grammes par jour (45 au lieu de 55) pendant le dernier mois de gestation, ce qui peut d'ailleurs être difficile à réaliser avec des rations à base de fourrages distribuées pendant la période de tarissement ; la prévention de la fièvre vitulaire sera renforcée par l'administration de dérivés de la vitamine D_3.

La mise à l'herbe est une période critique pendant laquelle la tétanie d'herbage est à craindre. Les origines du déficit magnésique sont diverses : teneur insuffisante en Mg de l'herbe jeune, faible digestibilité du magnésium alimentaire, lipolyse perturbant le métabolisme de Mg.

Contrairement au calcium et au phosphore, les réserves osseuses de Mg sont très peu mobilisables chez l'adulte : ce processus ne peut donc pas pallier une insuffisance temporaire d'apport. A la mise à l'herbe la teneur souhaitable de Mg doit être portée de 1,5 à 2-2,5 g/kg de MS.

Une supplémentation spécifique en magnésium, de 30 à 50 g de magnésie par jour pendant les 15 jours précédant et le mois suivant la mise à l'herbe, donne de bons résultats à condition de limiter les autres facteurs de risque en réalisant une mise à l'herbe progressive et en assurant aux animaux une alimentation énergétique suffisante.

Références bibliographiques

ADELOYE A.A., AKINSOYINU A.O., 1985. Phosphorus requirement of the young west african dwarf (Fouta djallon) goat for maintenance and growth. Nutr. Rep. Intern., 32, 239-244.

ANNENKOV B.N., 1979. Mineral feeding of cattle. Mineral feeding of sheep. in GEORGIEVSKII V.I., ANNENKOV B.N., SAMOKHIN V.I., «Mineral nutrition of animals» (traduit en anglais en 1982), ed. BUTTERWORTHS, London, 475 p.

Agricultural Research Council, 1965. The Nutrient Requirements of Farm Livestock. N° 2, Ruminants. ed. H.M.S.O. London.

Agricultural Research Council, 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. ed. Commonwealth Agricultural Bureaux. Slough.

BOUCHET J.P., GUEGUEN L., 1983. Particularités de la nutrition minérale, in «Particularités nutritionnelles des vaches à haut potentiel de production». Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, 53, 85-89.

BOXEBELD A., GUEGUEN L., HANNEQUART G., DURAND M., 1983. Utilization of phosphorus and calcium and mineral maintenance requirement for phosphorus in growing sheep fed a low-phosphorus diet. Reprod. Nutr. Dévelop., 23, 1043-1053.

BRAITHWAITE G.D., 1981. Effect of 1 alpha-hydroxycholecalciferol on calcium and phosphorus metabolism in sheep given high or low calcium diets. J. agric. Sci. Cam., 96, 291-299.

BRAITHWAITE G.D., 1982. Endogenous faecal loss of calcium by ruminants. J. agric. Sci., Camb., 99, 355-358.

BRAITHWAITE G.D., 1983a. Calcium and phosphorus requirements of the ewe during pregnancy and lactation. 1. Calcium. Brit. J. Nutr., 50, 711-722.

BRAITHWAITE G.D., 1983b. Calcium and phosphorus requirements of the ewe during pregnancy and lactation. 2. Phosphorus. Brit. J. Nutr., 50, 723-736.

BRAITHWAITE G.D., 1984. Some observations on phosphorus homeostasis and requirements of sheep. J. agric. Sci., Camb., 102, 295-306.

BRAITHWAITE G.D., 1985. Endogenous faecal loss of phosphorus in growing lambs and the calculation of phosphorus requirements. J. agric. Sci., Camb., 105, 67-72.

BRAITHWAITE G.D., 1986. Phosphorus requirements of ewes in pregnancy and lactation. J. agric. Sci., Camb., 106, 271-278.

BREVES G., HOLLER H., 1987. Gastrointestinal nitrogen turnover in sheep fed non-protein nitrogen and a phosphorus deficient diet, 19-29. in «Isotope aided studies on non-protein nitrogen and agro-industrial by-products utilization by ruminants.» IAEA, Vienna.

CATHCART E.B.,.SHELFORD J.A., PETERSON R.G., 1983. The effects of calcium carbonate on the apparent digestibility, serum concentration and apparent retention of dietary minerals in dairy cattle. Can. J., anim. Sci., 63, 173-180.

DURAND M., 1984. Le rôle du soufre dans le rumen, conséquences pour les besoins et recommandations d'apport chez le ruminant, M1-M31. in «Le Point sur le magnésium et le soufre en alimentation animale, ed. CAAA, INA-PG, Paris.

DURAND M., KAWASHIMA R., 1980. Influence of minerals in rumen microbial digestion, 375-408. in RUCKEBUSCH Y., THIVEND P., Proc. 5th Int. Symp. Ruminant Physiol., Clermont-Ferrand, 3rd-7th sept. 1979. MTP Press Ltd. Lancaster.

DURAND M., BERTIER B., HANNEQUART G., GUEGUEN L., 1982. Influence d'une subcarence en phosphore et d'un excès de calcium alimentaire sur la phosphatémie et les teneurs en phosphore et calcium des contenus de rumen du mouton. Reprod. Nutr. Dévelop., 22, 865-879.

DURAND M., BOXEBELD A., DUMAY C., BEAUMATIN Ph., 1983. Influence of the level of dietary phosphorus on urea utilization by rumen microorganisms in lambs, 263-266. 4th Int. Symp. on Protein Metabolism and Nutrition, INRA Publ. Versailles.

DURAND M., KOMISARCZUK S., 1988. Influence of major minerals on rumen microbiota. J. Nutr., 118 (in press).

EL FOULY H.A., LENG R.A., 1987. Enhancing fermentative digestion of cereal straws by using urea-molasses multinutrient blocks, 31-40. in «Isotope aided studies on non-protein nitrogen and agro-industrial by-products utilization by ruminants». IAEA, Vienna.

FIELD A.C., 1983. Maintenance requirements of phosphorus and absorbality of dietary phosphorus in sheep. J. agric. Sci., Camb., 100, 231-233.

FIELD A.C., COOP R.L., DINGWALL R.A., MUNRO C.S., 1982. The phosphorus requirements for growth and maintenance of sheep. J. agric. Sci., Camb., 99, 311-317.

FIELD A.C., KAMPHUES J., 1983. The effect of dietary intake of calcium and phosphorus on the absorption and excretion of phosphorus in chimaera-derived sheep. J. agric. Sci., Camb., 101, 597-602.

FIELD A.C., WOOLLIAMS J.A., DINGWALL R.A., MUNRO C.S., 1984. Animal and dietary variation in the absorption and metabolism of phosphorus by sheep. J. agric. Sci., Camb., 103, 283-291.

FIELD A.C., WOOLLIAMS J.A., DINGWALL R.A., 1985. The effect of dietary intake of calcium and dry matter on the absorption and excretion of calcium and phosphorus by growing lamb. J. agric. Sci., Camb., 105, 237-243.

GRACE N.D., 1980. Effect of increasing phosphorus intake on the P faecal endogenous loss in the sheep. Proc. N.Z. Soc. anim. Prod., 40, 2, 221-225.

GUEGUEN L., 1978. Minéraux : éléments minéraux majeurs. in «Alimentation des Ruminants». 129-142, ed. INRA Publ. Versailles.

GUEGUEN L., 1982. French recommended dietary allowances for calcium and phosphorus in cattle and sheep. Proc. 33th Eur. Ass. anim. Prod. meeting, Leningrad.

GUEGUEN L., 1985. La complémentation minérale de la ration des bovins charolais. Bull. G.T.V., 1B-275, 95-98.

GUEGUEN L., 1986. Les apports minéraux recommandés pour les bovins en croissance et à l'engrais. Evolution des connaissances depuis 1978. in «Production de viande bovine», INRA Paris, 504 p.

GUEGUEN L., DURAND M., 1983. Les besoins en phosphore des Ruminants, in «Le Point sur le phosphore en alimentation animale», Cycle approf. alim. anim., INA-PG, Paris.

GUEGUEN L., LAMAND M., MESCHY F., 1988. Nutrition minérale. in R. Jarrige ed. «L'alimentation des bovins, ovins et caprins». INRA Publ. Versailles.

HOVE K., 1984. Intestinal radiocalcium absorption in the goat : measurement by a double-isotope technique. Brit. J. Nutr., 51, 145-156.

I.N.R.A., 1978. Alimentation des Ruminants. ed. INRA Publ. Versailles, 621 p.

KANDYLIS K., 1984. The role of sulphur in ruminant nutrition. A review. Livestock Prod. Sci., 11, 611-624.

KEMP A., GEURINK J.H., 1978. Grasland farming and minerals in cattle. Neth. J. agric. Sci., 26, 161-169.

KOMISARCZUK S., MERRY R.J., McALLAN A.B., 1987. Effect of different levels of phosphorus on rumen microbial fermentation and synthesis determined using a continuous culture technique. Br. J. Nutr., 57, 279-290.

MACKIE R.I., THERION J.J., 1984. Influence of mineral interactions on growth efficiency of rumen bacteria, 455-477. in GILCHRIST F.M.C., MACKIE R.I., Herbivore Nutrition, Science Press, Craighall, South Africa.

MESCHY F., GUEGUEN L., 1987. Estimation of minimum phosphorus requirement for maintenance in sheep. 38th Eur. anim. Prod. meeting, Lisbon.

MOSELEY G., GRIFFITHS D.W., 1984. The mineral metabolism of sheep fed high-and low-magnesium selections of Italian ryegrass. Grass and Forage Science 39, 195-199.

National Research Council, 1978. Nutrient requirements of dairy cattle. Fifth rev. ed. NAS-NRC, Washington D.C.

PALMQUIST D.L., JENKINS T.C., JOYNER A.E. Jr., 1986. Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. J. Dairy Sci., 69, 1020-1025.

SCOTT D., McLEAN A.F., BUCHAN W., 1984. The effect of variation in phosphorus intake on net intestinal phosphorus, salivary phosphorus secretion and pathway of excretion in sheep fed roughage diets. Quart. J. Exp. Physiol., 69, 439-452.

SCOTT D., BUCHAN W., 1985. The effect of feedin either roughage or concentrate diets on salivary phosphorus secretion, net intestinal phosphorus absorption and urinary phosphorus excretion in the sheep. Quart. J. Exp. Physiol., 70, 365-375.

SMITH R.H., 1984. Minerals and rumen function, 79-96. in «Nuclear techniques in tropical animal diseases and nutritional disorders. International atomic energy agency, Vienna.

THOMPSON J.K., GELMAN A.L., 1984. The absorption of calcium by forage-fed lambs. Proc. Nutr. Soc., 43, 104A.

THOMPSON J.K., GELMAN A.L., JESSIMAN C.S., 1984. Effect of digestible carbohydrates on the apparent absorption of magnesium by wether lambs. Can. J. Anim. Sci., 64, 219-220.

TODD J.R., 1984. Mineral, trace element and vitamin allowances for ruminant livestock. MAFF, DAFS, DANI, UKASTA, BVA working party report. in «Recent advances in animal nutrition, 1984». ed. BUTTERWORTHS, London.

WARD G., HARBERS L.H., BLAMA J.J., 1979. Calcium-containing crystals in alfalfa : their fate in cattle. J. Dairy Sci., 62, 715-722.

WARD G., HARBERS L.H., 1982. Effect of pH on extractibility of calcium oxalate from alfalfa leaflets. J. Dairy Sci., 65, 154-160.

YOON D.J., 1980. Calcium requirements for high producing Holstein cows. Diss. Abstr. Int., 41, 1317B.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 113-116

Les besoins en oligoéléments des ruminants

M. LAMAND

INRA-CRZV Theix, Laboratoire des Maladies Nutritionnelles, 63122 Ceyrat.

Les oligoéléments ont, pour la plupart, un rôle d'activateur de systèmes enzymatiques, ou entrent dans la molécule d'hormone ou de vitamine. Leur action catalytique s'oppose en cela aux minéraux majeurs qui entrent pondéralement dans l'élaboration de tissus comme l'os par exemple.

Les oligoéléments font partie de la ration au même titre que les autres constituants (énergie, protéines...). Ils sont à prendre en compte dans le rationnement et les apports doivent être quantifiés : tout déficit ou excès étant néfaste à la santé ou à la productivité des animaux.

Bien que déjà publiés antérieurement, nous rappellerons les mécanismes de la régulation du métabolisme des oligoéléments et les moyens de quantifier les besoins pour mieux en souligner l'imprécision.

Absorption et métabolisme des oligoéléments

La plupart des oligoéléments, notamment le cuivre, le zinc et le manganèse sont absorbés en majeure partie dans le duodénum et la partie supérieure du jéjunum (BECKER et HOEKSTRA, 1971 ; VAN CAMPEN, 1971 ; CRAGLE, 1973 ; MILLER, 1973). Ils sont excrétés dans l'intestin par les sécrétions digestives, notamment la bile (Figure 1).

Pour les cations, la régulation métabolique du niveau de la rétention se fait par un équilibre entre l'absorption et l'excrétion endogène (MILLER, 1973 ; ABRAMS *et al.*, 1976). Des apports élevés induisent une diminution de la digestibilité réelle et une augmentation de l'excrétion fécale endogène. Une complémentation exagérée provoque une réplétion des organes de stockage puis l'intoxication. A l'inverse, avec une ration à teneur faible, la digestibilité réelle augmente et l'excrétion fécale diminue.

Pour les cations, l'excrétion urinaire est négligeable : pour quantifier leur absorption on utilise donc le plus souvent la digestibilité apparente (da) définie par la relation :

$$da = \frac{\text{Quantité ingérée - Excrétion fécale}}{\text{Quantité ingérée}} \times 100$$

Chez l'animal à l'entretien la da est voisine de zéro, les apports devant essentiellement couvrir l'excrétion fécale endogène. Pour des animaux en croissance la da s'établit vers 15 à 20 %. La limite de carence correspond à la quantité ingérée qui équilibre les excrétions, c'est-à-dire quand la da devient négative.

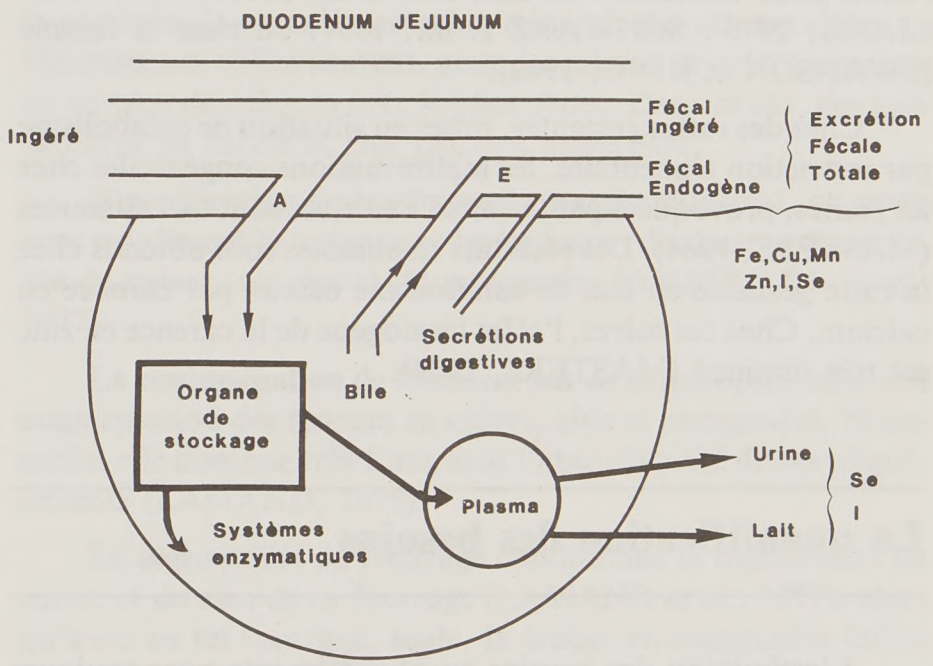


FIG. 1 : *Schéma du métabolisme des oligoéléments.*

Pour les anions, la da est beaucoup plus élevée et se situe vers 60 % pour l'iode (MILLER, 1966) ou le sélénium (LAMAND, résultats non publiés). L'excrétion urinaire constitue une voie d'excrétion importante pour l'homéostasie de chacun de ces éléments. L'excrétion de l'iode par l'urine est proportionnelle à l'iode non lié aux protéines du plasma (LENGEMAN, 1963 ; MILLER et SWANSON, 1973). Il en est de même du sélénium. Chez le rat, l'excrétion urinaire devient proportionnelle à la quantité de l'élément ingéré au-delà d'un certain seuil situé entre 0,05 et 0,08 mg Se/kg M.S. (BURK *et al.*, 1973).

Une ingestion insuffisante d'oligoéléments amenuise les stocks (Fig. 2, adaptée de SUTTLE, 1976). Les réserves en oligoéléments peuvent diminuer tant qu'une régulation physiologique permet le maintien du niveau d'élément circulant et l'activité des systèmes enzymatiques.

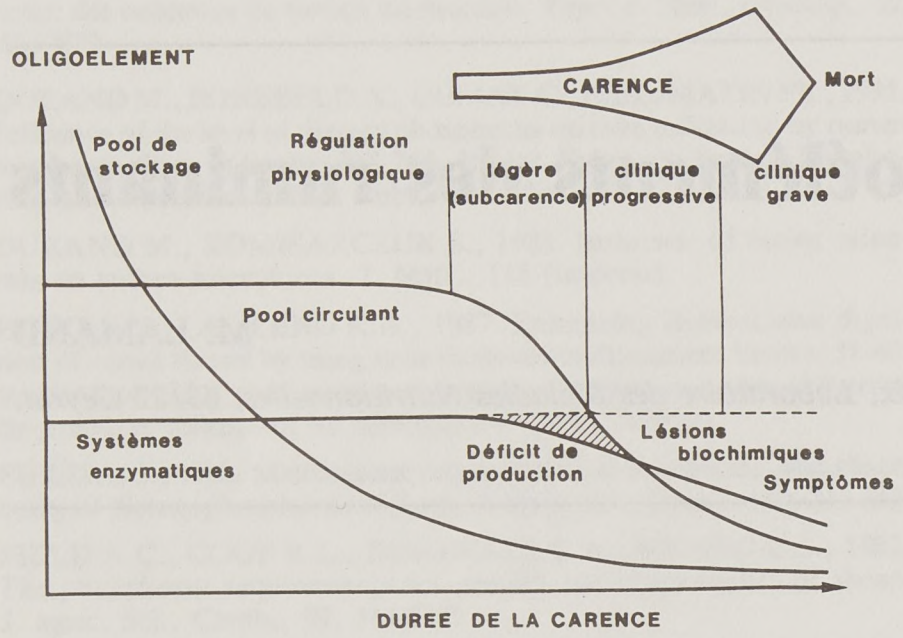


FIG. 2 : *Cinétique de l'évolution d'une carence.*

Avec l'évolution de la carence, les taux plasmatiques diminuent à leur tour. Le fonctionnement des voies métaboliques est progressivement perturbé et les lésions biochimiques apparaissent. La production des animaux diminue en premier (croissance, engraissement, reproduction) puis les symptômes s'aggravent, éventuellement jusqu'à la mort.

Certaines situations physiologiques peuvent modifier l'évolution de la carence. La gestation et la lactation augmentent l'absorption intestinale du zinc chez le rat (DAVIES et WILLIAMS, 1976 ; SCHWARZ *et al.*, 1981) ou chez la femme (SWANSON et KING, 1982).

Chez des rattes gestantes, mises en situation de catabolisme par restriction alimentaire, les malformations congénitales chez les jeunes, provoquées par la carence en zinc, sont très atténuées (MASTERS, 1984). Des résultats semblables sont obtenus chez la ratte gestante en état de catabolisme osseux par carence en calcium. Chez ces mères, l'effet tératogène de la carence en zinc est très diminué (MASTERS, 1984).

La quantification des besoins

L'estimation des besoins en oligoéléments pose toujours beaucoup de difficultés (MILLS et WILLIAMS, 1971). Différentes méthodes peuvent être utilisées : l'étude des relations entre la concentration de la ration et la réponse physiologique, le calcul du bilan des entrées et sorties, le schéma factoriel basé sur le dosage de la composition corporelle avec une estimation des pertes d'origines endogènes ou enfin les observations issues de la pratique constatant l'apparition de carence clinique avec telle ou telle ration. Chacune de ces approches est entâchée d'erreur. La réponse physiologique est souvent différée dans le temps après le changement de composition de la ration. Les besoins seront également variables selon qu'on recherchera une croissance adéquate, l'absence d'anémie ou la réplétion des stocks hépatiques en tel ou tel élément.

Les expérimentations axées spécifiquement sur le calcul des besoins ont été très rares et le plus souvent effectuées sur moutons. Les conclusions obtenues sur petits ruminants se sont avérées, avec le temps, transposables aux bovins.

MARSTON (1970), par une série de carences expérimentales à différents niveaux d'apport de cobalt, a déterminé les besoins du mouton, soit pour une croissance optimum, soit à un niveau supérieur pour un stockage de vitamine B12 maximum dans le foie. Ses résultats restent valables car on ne connaît pas d'interférence avec l'utilisation du cobalt par la flore du rumen dans la synthèse de vitamine B12.

SUTTLE (1974) a également mis au point et utilisé la technique de réplétion de brebis carencées en cuivre. Le niveau du cuivre plasmatique est restauré chez des brebis hypocuprémiques par distribution, par la bouche, de la forme de cuivre dont on veut mesurer la digestibilité et on compare l'augmentation de la cuprémie avec celle qui est obtenue avec un sel de cuivre injecté par voie intraveineuse (ce cuivre, est par définition, absorbé à 100 %). Une digestibilité peut ainsi être calculée. Cependant, la difficulté d'utilisation de la méthode est telle qu'elle a été très peu utilisée par d'autres équipes.

Les expériences de bilan sont imprécises et sont à utiliser dans un cadre très précis : avec des animaux en croissance rapide pour mesurer des bilans aussi positifs que possible, avec des animaux génétiquement très homogènes, en nombre élevé, et maintenus dans un environnement exempt de contaminations (LAMAND, 1974b). Si de telles expériences permettent de mettre en évidence des modifications relativement importantes de digestibilité avec telle ou telle interférence, il est exclu de les utiliser pour quantifier des besoins (MILLS et WILLIAMS, 1971).

Les recommandations adoptées pour les bovins et les ovins sont en général issues de la pratique et de la constatation que tel ou tel niveau d'apport est suffisant pour maintenir les animaux en bonne santé.

Cette notion de niveau suffisant doit être associée à des aliments habituellement utilisés. Des travaux de MILLS *et al* (1967), il ressort que 15 mg Zn/kg M.S. suffisent pour l'agneau en croissance sur régime semi-synthétique, concentré et exempt de fibres, alors qu'un tel apport est insuffisant avec des fourrages.

A partir de la limite de carence, une certaine marge de sécurité a été ajoutée pour pallier les variations individuelles d'absorption.

Les apports recommandés pour la flore du rumen

Le fer, le manganèse, le zinc, le cobalt et le cuivre sont indispensables à l'équipement enzymatique des bactéries. Le fer fait partie des cytochromes de *Bactéroïdes ruminicola*. Le manganèse stimule la fixation de CO_2 par *Ruminococcus flavefaciens*. Le zinc est indispensable aux bactéries pour les synthèses protéiques. Il joue aussi un rôle dans la stabilisation des membranes. Le cobalt est incorporé par les bactéries dans la vitamine B12 qu'elles synthétisent et qui leur est indispensable. Le cuivre pourrait également favoriser la synthèse protéique (UESAKA *et al.*, 1965).

De même la production d'acides gras volatils par les protozoaires est stimulée par le fer et le molybdène (CHURCH, 1976).

DURAND et KAWASHIMA (1980) aboutissent à la conclusion que les éléments précédemment évoqués sont nécessaires pour optimiser le métabolisme microbien dans le rumen. Cependant, MATTURI (1984) ajoute que les besoins de la flore en ces éléments sont inférieurs à ceux de l'hôte. Les teneurs optimum du contenu du rumen et du régime pour le métabolisme de la flore sont résumées dans le tableau 1 (DURAND et KAWASHIMA, 1980).

TABLEAU 1

Estimation des teneurs optimum du contenu du rumen et de la ration pour le métabolisme de la flore (DURAND et KAWASHIMA, 1980)

	Fe	Mn	Zn	Co	Cu	Mo
Dans le rumen (mg/l)	1-10	1-10	0,2-1	0,1-0,5	0,01-0,25	1-10
Dans la ration (mg/kg MS)	120	120	50	0,5-1	5-10?	?

Les apports recommandés pour l'hôte

Ils sont résumés dans le tableau 2. Nous ne reviendrons pas sur les sources bibliographiques qui ont permis d'aboutir à ces recommandations, elles ont été commentées dans le passé (LAMAND, 1978). Avec le recul du temps elles s'avèrent convenir et ne sont plus remises en cause. Cependant, nous avons diminué la limite de toxicité du cuivre, du cobalt et du zinc. Nous avons en effet observé, parfois, chez des jeunes, des blocages d'appétit et de croissance avec des teneurs en ces éléments supérieurs à ces limites. Les teneurs en oligoéléments des fourrages en France sont maintenant bien connues. La complémentation minérale systématique a fait pratiquement disparaître les carences primaires (ou d'apport) dans les troupeaux. Ce niveau de maîtrise des carences primaires n'est pas encore atteint dans les pays circumméditerranéens, en Afrique francophone notamment.

TABLEAU 2

Seuils, apports recommandés et toxicité des oligoéléments (mg/kg M.S.)

Eléments	Limite de carence	Apports recommandés	Seuil de toxicité
Cu	7	10	Ovins : 15 Bovins : 30
Co	0,07	0,1	10
I	0,15	0,2	8
Mn	45	50	1000
Zn	45	50	250
Se	0,1	0,1	0,5
Mo			3

Facteurs diminuant la digestibilité des oligoéléments

La digestibilité des oligoéléments peut être modifiée : apparaissent alors des carences secondaires, par opposition aux carences primaires ou d'apport que nous venons d'évoquer. Les carences secondaires sont dues à une perturbation de la composition du contenu digestif provoquée par la ration. L'efficacité de l'absorption par la muqueuse intestinale est alors diminuée.

L'interférence du soufre avec le cuivre est due à la synthèse de thiomolybdates qui bloquent les enzymes comportant du cuivre au site actif. Le soufre en excès (au-delà de 2 g/kg M.S.), peut être introduit, à la formulation, sans justification, dans le complément minéral, ou provenir d'une contamination industrielle comme les sulfates utilisés comme adjuvant pour le surpressage des pulpes.

L'excès de soufre diminue la digestibilité du zinc ou du manganèse (LAMAND, 1974b). On peut penser qu'à une teneur de 4 ou 5 g S/kg M.S. le soufre est gaspillé dans le rumen par la synthèse de sulfures qui diminuent la solubilité du cuivre, du manganèse et du zinc (LAMAND, 1974a). Des résultats récents montrent qu'il est difficile de compenser ces effets : des moutons se carencent progressivement en zinc malgré une ration portée à 85 mg Zn/kg M.S. en ajoutant un complément minéral (LAMAND *et al.*, 1988).

Le calcium ajouté en excès à la ration est susceptible de diminuer la digestibilité du cuivre, du zinc et du manganèse (DAVIS, 1972). Dans une certaine mesure le calcium des légumineuses ne provoque pas de diminution de la digestibilité des oligoéléments de ce fourrage (LAMAND, 1975). Cependant, dans la pratique, la complémentation minérale des rations riches en légumineuses oblige souvent, pour des raisons de coût, à apporter un surplus de calcium avec le phosphore. Dans ce cas, des subcarences en cuivre et zinc peuvent apparaître.

L'accélération de la vitesse du transit intestinal, observée avec un aliment broyé ou une herbe jeune, diminue la digestibilité du cuivre, du zinc et du manganèse (AMBOULOU *et al.*, 1977).

La contamination de l'aliment par de la terre provoque une augmentation des teneurs en cuivre, zinc et manganèse. Néanmoins elle diminue très fortement l'absorbabilité de ces oligoéléments (LAMAND, 1979).

La digestibilité du fourrage conditionne la digestibilité du cuivre et du zinc de ce fourrage (LAMAND *et al.*, 1977), alors qu'avec un tel fourrage, seule, la teneur en manganèse influe sur la digestibilité de l'élément.

Un foin récolté tardivement, est pauvre en protéines et en zinc. Un tel foin peut carencer des agneaux en zinc en une vingtaine de jours (LAMAND *et al.*, 1983). Ce régime carencé en protéines, même complémenté en zinc à un niveau normal (50 mg/kg M.S.), ne permet pas une absorption normale du zinc. Pour vaincre cette malabsorption il faut porter la ration à 300 mg de zinc/kg M.S., soit 6 fois les recommandations (LAMAND, 1985). Un tel apport devient alors dangereux et peut diminuer l'absorption du cuivre.

Nous venons de voir que la diminution de l'absorption du zinc provoquée par une ration trop riche en soufre ou trop pauvre en protéines ne peut être compensée par une modification

de la formulation du complément minéral. Les doses de zinc à ajouter sont en effet du domaine de la thérapeutique ce qui implique un contrôle de la posologie du zinc (injectable ou *per os*).

Il y a donc lieu de remettre en cause le réflexe qui aboutissait à augmenter les teneurs en oligoéléments des compléments minéraux pour vaincre les interférences : il faut avant tout rectifier la composition de la ration elle-même.

Conclusion

Les besoins en oligoéléments qui avaient été établis il y a plusieurs années ne doivent pas être remis en cause. Ils s'avèrent, à l'usage, tout à fait suffisants pour des rations normales. Dans le passé, on pensait résoudre les problèmes d'interférence dans la ration en augmentant les apports d'oligoéléments. D'après quelques exemples expérimentaux on s'aperçoit que le résultat est aléatoire : il est impératif de supprimer l'interférence en rectifiant la composition de la ration elle-même.

De plus, la tendance généralisée de surcharger les rations en oligoéléments est très néfaste : on rencontre maintenant des accidents pathologiques difficiles à expliquer (inappétence, arrêt de croissance, troubles osseux...) si ce n'est par une distorsion flagrante dans la composition du complément minéral.

Références bibliographiques

ABRAMS E., LASSITER J.W., MILLER W.J., NEATHERY M.W., GENTRY R.P., SCARTH R.D., 1976. Absorption as a factor in manganese homeostasis. J. Anim. Sci., **42**, 630-636.

AMBOULOU D., LAMAND M., RAYSSIGUIER Y., 1977. Chopping versus grinding and pelleting of hay : effect on availability of trace elements (Cu, Zn and Mn) and major elements (Ca, P and Mg). Ann. Rech. Vet., **8**, 1-6.

BECKER W.M., HOEKSTRA W.G., 1971. The intestinal absorption of zinc. In «Intestinal absorption of metal ions, trace elements and radionuclides», SKORYNA S.C., WALDRON Edward D. ed., Pergamon Press. p. 229-256.

BURK R.F., SEELY R.J., KIKER K.W., 1973. Selenium : dietary threshold for urinary excretion in the rat. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., **142**, 214-216.

CHURCH D.C., 1976. Digestive physiology and nutrition of ruminants, vol. 1, Digestive Physiology. O. and B. Books Corvallis, Oregon.

CRAGLE R.G., 1973. Dynamics of mineral elements in the digestive tract of ruminants. Fed. Proc., **32**, 1910-1914.

DAVIES N.T., WILLIAMS R.B., 1976. Zinc absorption in pregnancy and lactation. Proc. Nutr. Soc., **35**, 5A-6A (abstract).

DAVIS G.K., 1972. Competition among mineral elements relating to absorption by animals. Ann. N.Y. Acad. Sci., **199**, 62-69.

DURAND M., KAWASHIMA R., 1980. Influence of minerals in rumen microbial digestion. In «Digestive physiology and metabolism in ruminants», RUCKEBUSCH Y., THIVEND P. ed. MTP Press Ltd. p. 375-408.

LAMAND M., 1974a. Facteurs interférant avec la digestibilité des oligoéléments dans les ensilages de maïs. Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **18**, 21-25.

LAMAND M., 1974b. Ethiopathogénie des carences en oligoéléments dans les ensilages de maïs enrichis en urée et en soufre. Ann. Rech. Vet., **5**, 281-289.

LAMAND M., 1975. Utilisation digestive et métabolique des oligoéléments, les besoins de l'adulte et du jeune. C.R. Congrès «Les minéraux et les vitamines», tome 1, p. 123-133. Le Point Vétérinaire Paris.

LAMAND M., 1978. Les oligoéléments. In «INRA, 1978. Alimentation des Ruminants» ed. INRA Publications (route de St Cyr), 78000 Versailles.

LAMAND M., 1979. Influence of silage contamination of soil upon trace elements availability in sheep. Ann. Rech. Vet., **10**, 571-573.

LAMAND M., 1985. Influence of protein intake on per os zinc deficiency treatment in sheep. Ann. Rech. Vet., **16**, 285-287.

LAMAND M., AMBOULOU D., RAYSSIGUIER Y., 1977. Effect of quality forage on availability of trace elements and some major elements. Ann. Rech. Vet., **8**, 303-306.

LAMAND M., LAB C., MIGNON M., TRESSOL J.C., 1983. A zinc-deficient diet for ruminants : diagnosis and treatment of deficiency. Ann. Rech. Vet., **14**, 211-215.

LAMAND M., LAB C., MIGNON M., TRESSOL J.C., 1988. Interférence du soufre et du molybdène avec le métabolisme du cuivre et du zinc chez l'agneau. Reprod. Nutr. Dev., **28**, (sous presse).

LENGEMAN F.W., 1963. 131 concentrations in blood milk, urine and faeces of dairy cows following a single dose of radio-iodine. J. Agric. Sci., **61**, 375-379.

MARSTON H.R., 1970. The requirement of sheep for cobalt or for vitamin B12. Br. J. Nutr., **24**, 615.

MASTERS D.G., 1984. Factors affecting the zinc requirements of grazing ruminants. In «Ruminants physiology. Concepts and consequences». BAKER S.K., GAWTHORNE J.M., MACKINTOSH J.B., PURSER D.B. ed, Proc. Symp. Univ. West. Aust., 7-10/5/1984.

MATTURI A.S., 1984. The requirement for iron, zinc, manganese and cobalt for cellulose digestion by rumen microorganisms. In «Ruminants physiology. Concepts and consequences». BAKER S.K., GAWTHORNE J.M., MACINTOSH J.B., PURSER D.B. ed, Proc. Symp. Univ. West. Austr., 7-10/5/1984, p. 175-182.

MILLER J.K., 1966. Absorption and gastric secretion of iodine-131 and chlorine-36 in dairy calves. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., **121**, 291-293.

MILLER J.K., SWANSON E.W., 1973. Metabolism of ethylenediaminedihydriodide and sodium or potassium iodide by dairy cows. J. Dairy Sci., **56**, 378-384.

MILLER W.J., 1973. Dynamics of absorption rates, endogenous excretion, tissue turnover and homeostatic control mechanisms of zinc, cadmium, manganese and nickel in ruminants. Fed. Proc., **32**, 1915-1920.

MILLS C.F., DALGARNO A.C., WILLIAMS R.B., QUARTERMAN J., 1967. Zinc deficiency and the zinc requirements of calves and lambs. Br. J. Nutr., **21**, 751-768.

MILLS C.F., WILLIAMS R.B., 1971. Problems in the determination of the trace element requirements of animals. Proc. Nutr. Soc., **30**, 83-91.

SCHWARZ F.J., KIRCHGESSNER M., SHERIF S.Y., 1981. Zur intestinaleu Absorption von Zink während der Graviditäv und Laktation. Res. Exp. Med. (Berl), **179**, 35-42.

SUTTLE N.F., 1974. A technique for measuring the biological availability of copper to sheep, using hypocupraemic ewes. Br. J. Nutr., **32**, 395-405.

SUTTLE N.F., 1976. The detection and prevention of trace deficiencies in animal husbandry systems. Chem. and Ind., **13**, 559-562.

SWANSON C.A., KING J.C., 1982. Zinc utilisation in pregnant and non pregnant women fed controlled diets providing the zinc RDA. J. Nutr., **112**, 697-707.

UESAKA S., KAWASHIMA R., ZEMBAYASHI M., 1965. Studies on importance of trace elements in farm animal feeding. XXVI. Effects of trace elements on the activities of rumen bacteria, in special reference to the differences of the effects appearing among cellulose digestion, protein synthesis and vitamin B12 synthesis by rumen bacteria. Bull. Res. Inst. Food Sci. Kyoto Univ., **28**, 10-18.

VAN CAMPEN D.R., 1971. Absorption of copper from the gastrointestinal tract. In «Intestinal absorption of metal ions, trace elements and radionuclides», SKORYNA S.C., WALDRON Edwards D. ed., Pergamon Press, p. 211-228.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 117-131

Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation

Y. CHILLIARD, B. REMOND, J. AGABRIEL, J. ROBELIN ET R. VERITE *

INRA-CRZV Theix, Station des Productions Bovines et Chevalines, 63122 Ceyrat.
** INRA-St-Gilles, Station de Recherches sur la Vache laitière, 35590 L'Hermitage*

Les ruminants femelles présentent de grandes variations de poids vif au cours du cycle gestation-lactation. Ces variations sont délicates à interpréter car elles ont pour origine des phénomènes de natures très différentes :

— variations du contenu des différentes parties du tube digestif ;
— variations des contenus utérin et mammaire ;
— variations de la masse et de la composition corporelle (tissus adipeux, muscles et os ; lipides, protéines, eau et minéraux).

Nous rappellerons dans ce texte les principaux facteurs et plages de variations des différents compartiments concernés, avec comme objectif final une meilleure estimation des équivalences énergétiques des variations de poids vif.

I. Variations du contenu digestif

Les particularités anatomiques et physiologiques du tube digestif des Ruminants, et la nature des aliments qu'ils ingèrent, entraînent la présence dans ce tube digestif d'une quantité de contenus très supérieure à celle des autres animaux domestiques, et très variable. Elle est en général comprise entre 10 p. 100 et 20 p. 100 du poids vif chez les bovins (BERANGER et ROBELIN, 1978) et peut même être encore plus élevée (cf. ARC, 1980).

Le contenu digestif des femelles laitières varie avec de nombreux facteurs communs aux autres catégories de Ruminants, notamment la nature et le niveau de distribution du régime et le format des animaux. Il varie aussi avec le stade de gestation et de lactation. Il n'existe que très peu de données chez les ovins et les caprins.

La prédiction du poids du contenu digestif des bovins en situation d'élevage est imprécise car elle s'appuie : 1) soit (et essentiellement) sur des données acquises dans des conditions particulières, après transport, jeûne plus ou moins prolongé et abattage des animaux. Or, si le délai entre la pesée des contenus digestifs et le repas semble assez peu modifier la répartition du contenu digestif entre les pré-estomacs et le reste du tube digestif (BERANGER et ROBELIN, 1978), il modifie en revanche fortement le poids des contenus. Ainsi, le poids du contenu de rumen mesuré après une ingestion de 10,1 kg de MS (moyenne de 4 régimes) en 5 heures est de 25,8 kg plus élevé que celui mesuré avant le repas (BINES et DAVEY, 1970). Les différences de poids de contenus de rumen entre les régimes sont plus faibles quand ils étaient mesurés avant le repas qu'après (Tableau 1). ; 2) soit sur des poids de contenus de rumen d'animaux porteurs de canules en admettant qu'ils constituent une proportion constante du poids total des contenus digestifs.

1. Effet de l'alimentation

L'alimentation des animaux influe sur le poids des contenus digestifs par la nature des aliments qui constituent les régimes et par leur niveau de distribution.

Nature des aliments :

Chez des bouvillons, le foin induit une quantité plus importante de contenus digestifs totaux (de 22,7 kg) que l'ensilage d'herbe récolté simultanément et sur la même parcelle, et cet accroissement est entièrement dû au réticulo-rumen (Mac CARRICK, 1966). Dans une étude récapitulative, BERANGER et ROBELIN (1978) avaient également enregistré les poids de contenus digestifs les plus élevés avec des régimes à base de foin (qui présentaient aussi les digestibilités les plus faibles), et les poids les plus faibles avec des régimes riches en aliments con-

TABLEAU 1

Effet du délai de la mesure par rapport au repas sur la quantité de contenu de réticulo-rumen (BINES et DAVEY, 1970).

% Fourrage	Quantité de contenu de réticulo-rumen		Quantités ingérées (kg MS)
	Avant la distribution de la ration	Après le repas	
60	64,0	92,9	10,7
40	54,9	86,3	11,3
20	43,1	71,9	10,7
0	45,9	59,8	7,5

centrés et en fourrages broyés et agglomérés. Le poids de contenu varie donc plus lorsque les régimes ont une digestibilité plus faible.

A la mise à l'herbe, au printemps, le poids vif des animaux diminue brutalement. Chez des vaches Charolaises équipées de canules du rumen, AGABRIEL et PETIT (1987) ont enregistré une perte de poids de contenus de rumen de 35 kg.

La répartition du contenu digestif entre le réticulo-rumen et le reste du tube digestif varie également. La proportion du contenu de rumen passe de 75 % pour le régime d'ensilage d'herbe à 80 % pour le régime de foin qui induisait la plus grande quantité de contenus digestifs (Mac CARRICK, 1966). BERANGER et ROBELIN (1978) observent également que, pour une répartition moyenne semblable (72 %), la part du contenu de réticulo-rumen était d'autant plus forte que le poids total de contenus digestifs l'était également. Cependant, dans cette étude, la liaison entre le poids du contenu de rumen et le poids du contenu digestif total (poids contenu digestif total p. 100 poids vif = 1,05 + 1,28 poids du contenu de rumen p. 100 du poids vif) apparaît relativement médiocre (r = 0,65) et semble dépendre de la nature du régime.

Niveau de distribution du régime :

La variation de la quantité d'aliments offerte aux animaux entraîne immédiatement, et au moins à court terme, une variation dans le même sens des quantités des contenus digestifs. Pour ce qui concerne le contenu du réticulo-rumen, AGABRIEL et GIRAUD (1988) ont enregistré chez des vaches charolaises recevant un régime de foin une variation de 4 kg par kg de MS ingérée en plus ou moins, ce qui n'explique toutefois que 62 % des variations simultanées du poids vif. Les variations du poids de contenu de rumen mesurées avant le repas sont beaucoup plus faibles que celles mesurées juste après le repas (1,8 ou 2,7 par kg de MS ingérée, selon le régime, contre 5,9 ou 6,2 kg) (tableau 2). Quand le niveau d'alimentation restreint reste maintenu pendant plusieurs mois, le poids du contenu digestif des animaux restreints se rapproche de celui des animaux alimentés à volonté (cf. Revue de l'ARC, 1980). Une différence de contenu de réticulo-rumen de 15 kg a toutefois été observée après une réduction de 5 kg de MS ingérée par jour pendant 4 mois (AGABRIEL *et al.*, 1985).

2. Effet du stade physiologique

Le déroulement de la fin de la gestation puis de la lactation s'accompagne d'une légère diminution juste avant la mise-bas, puis d'un accroissement important des quantités d'aliments ingérées, de sorte que l'influence propre du stade physiologique sur les contenus digestifs est confondue avec celle des quantités ingérées. Un récapitulatif (REMOND, 1988) des poids de contenus de réticulo-rumen mesurés par vidage du rumen de vaches porteuses de canules recevant à volonté un régime constitué de 70 p. 100 d'ensilage de maïs et 30 p. 100 d'aliment concentré, montre que 1) leur évolution en début de lactation est très semblable à celle des quantités d'aliments ingérées ; 2) leurs

TABLEAU 2

Effet du niveau d'alimentation sur la quantité de contenus digestifs dans le réticulo-rumen (CAMPLING et FREER, 1966).

	Distribution des aliments					
	limitée			A volonté		
	Quantités ingérées (kg)	Quantité de contenus		Quantités ingérées (kg)	Quantités de contenus	
		Avant repas	Après repas		Avant repas	Après repas
Herbe déshydratée, forme normale	4,5	47,1	55,6	10,9	58,1	93,4
Herbe broyée déshydratée	4,5	48,1	52,6	10,7	65,3	92,2

variations entre le début de la lactation et la fin du 2ème mois sont d'environ 3 kg par kg de MS d'aliment ingéré ; 3) l'effet propre du stade de lactation existe mais semble peu important. C'est ce que confirment les résultats d'AGABRIEL et PETIT (1987) qui n'ont observé chez des vaches allaitantes recevant un régime constant de 10 kg de foin qu'une faible diminution (— 3 kg) du poids du contenu de réticulo-rumen au cours du dernier mois et demi de gestation, puis une légère augmentation (+ 12 kg) jusqu'au 3ème mois de lactation. De plus, des pesées effectuées après abattage ont montré un accroissement du poids du contenu intestinal en début de lactation de 8 kg entre les semaines 1 à 8, alors que les quantités ingérées passaient de 14,3 à 15,5 kg de MS (ROBELIN, CHILLIARD, REMOND, non publié).

En conclusion de ces différentes observations, on peut penser qu'avec des vaches du format des Pie-Noires recevant des régimes à base d'ensilage de maïs, le poids des contenus digestifs (réticulo-rumen et intestins) s'accroît d'environ 4 kg par kg de MS ingérée. Ce chiffre devra être précisé à l'avenir en fonction des variations du contenu intestinal qui restent très mal connues, ainsi que pour d'autres types de régimes (il est probablement plus élevé avec des régimes à base de foin).

II. Variations des contenus utérin et mammaire

Le poids du contenu utérin (foetus, annexes et utérus) s'accroît de façon exponentielle au cours de la gestation. On peut le prédire, ainsi que les dépôts énergétiques, azotés et minéraux, à partir du poids de la portée à la naissance et du stade de gestation (JARRIGE *et al.*, 1978). Les équations ont été revues pour les ovins (THERIEZ *et al.*, 1987).

Les fœtus représentent en moyenne en fin de gestation 53 % du poids «frais» de l'utérus chez les bovins, et 62 % chez les ovins, et de 75 à 80 % de l'énergie et de l'azote fixés. Une vache qui donne naissance à un veau de 45 kg perd environ 75 kg, soit 12 % de son poids vif. Cette perte peut dépasser 20 % chez les brebis ou les chèvres prolifiques. L'involution utérine en début de lactation (supérieure à 6 kg d'après les données du tableau 3) intervient aussi dans les variations de poids des deux premières semaines de lactation.

Le poids de lait contenu dans la mamelle s'accroît entre les deux traites journalières. Les variations de poids vif d'une vache produisant 40 kg de lait, traite à 7 h et à 16 h, seraient donc d'environ 16 kg pendant la journée et d'environ 24 kg pendant la nuit. Ce qui souligne la nécessité de peser les animaux à heure fixe. Ce facteur interviendra aussi d'un jour à l'autre lorsque la production laitière augmente rapidement en début de lactation. Les différences de poids vif mesuré entre 8 h et 14 h sont par exemple de 12 kg en 1ère-2ème semaine de lactation (n = 39) et de 19 kg (n = 35) au 3ème mois (VERITE, non publié), ce qui reflète les variations simultanées des contenus digestifs et mammaires.

TABLEAU 3

Variation de la composition anatomique et chimique chez la vache laitière (1) (ROBELIN et CHILLIARD, 1983).

	Engraissement de vaches taries (2)			Mobilisation en début de lactation(3)		
	4 vaches émaciées (Lot M)	4 vaches grasses (Lot G)	"Dépôt" (G - M)	4 vaches en 1ère semaine (Lot C)	4 vaches en 8ème semaine (Lot D)	Mobilisation (C - D)
Poids vif	539	659	120	655	519	136
Poids vif vide	421	535	114	559	417	142
Muscles	182	190	8	185	151	34
Squelette	61	62	1	57	58	-1
Dépôts adipeux	35	122	87	122	41	81
Utérus	1	1	0	7	1	6
Eau	280	290	10	310	275	35
Protéines	78	85	7	88	73	15
Minéraux	24	25	1	24	22	2
Lipides	39	136	98	137	47	90

(1) *Les résultats (en kg) ont été obtenus par dissection complète des animaux et analyse chimique de la ½ carcasse et du 5ème quartier.*

(2) *Vaches Frisonnes appariées initialement sur le poids vif, l'âge, la note d'état corporel et la taille des adipocytes prélevés par biopsie. Le lot G a été abattu après 155 jours d'engraissement.*

(3) *Vaches Holstein X Frisonne ayant un potentiel laitier de 30 à 40 kg. Les vaches du lot C sont abattues après 5 jours de lactation. Les vaches abattues en 8ème semaine ont reçu une ration d'ensilage de maïs + concentré (65/35) à raison de 75 p.100 de leur capacité d'ingestion théorique. La colonne "mobilisation" représente en fait un potentiel de mobilisation, les animaux du lot D étant moins gras au vêlage que ceux du lot C, d'après les estimations faites en utilisant l'eau lourde.*

III. Variations de la masse et de la composition corporelle

Les variations de la masse corporelle (poids vif vide) résultent essentiellement de variations des quantités de lipides, d'eau et de protéines (les minéraux étant quantitativement très peu variables) (tableau 3). Les variations de lipides concernent essentiellement, mais non exclusivement, les dépôts adipeux. Celles des protéines et de l'eau ne correspondent qu'en partie à des variations musculaires, le reste étant dû aux viscères et autres organes.

1. Variations des lipides corporels

Les variations quantitatives des lipides corporels, et leurs facteurs de variation, chez la brebis et chez la vache au cours du cycle gestation-lactation ont été décrites en détail par ailleurs (revue de CHILLIARD, 1987). Les résultats proviennent d'études effectuées soit après abattage, soit en utilisant l'eau lourde, soit en chambres respiratoires.

Chez la brebis gravide, les lipides corporels sont généralement mobilisés pendant la deuxième moitié de la gestation, en quantités variables selon le nombre de foetus et le niveau alimentaire ou la qualité de la ration. Les pertes peuvent atteindre 5 kg de lipides ou 50 % des lipides corporels initiaux.

La brebis en lactation mobilise ses lipides de façon variable selon le nombre d'agneaux allaités (la quantité de lait produite) et la qualité de la ration, et selon leur état d'engraissement à la mise-bas (Figure 1). Les quantités mobilisées peuvent atteindre 400 g/j et dépasser au total 13 kg, ou 75 % des lipides corporels. Des mobilisations de 6 à 7 kg en 6 semaines sont couramment rencontrées.

La reconstitution des réserves s'effectue essentiellement après le sevrage des agneaux. Toutefois, les brebis peu prolifique et/ou faibles productrices de lait, alimentées de façon libérale, peuvent déposer des lipides pendant le dernier tiers de la gestation ou pendant la lactation.

La vache gravide ne mobilise ses réserves corporelles qu'en cas de sous-alimentation (sauf lorsqu'elle porte des jumeaux) ou pendant les derniers jours de la gestation. Le dépôt de lipides corporels est toutefois ralenti ou nul pendant le dernier mois de gestation en raison du développement du foetus et de la mamelle, et de la préparation de la sécrétion du colostrum, ainsi qu'en raison de la diminution de l'appétit de l'animal.

La vache laitière en début de lactation mobilise plus fortement et plus durablement ses lipides lorsqu'elle est forte productrice de lait, lorsque la ration est de moindre qualité ou peu ingestible, et lorsqu'elle est grasse au vêlage (lorsqu'elle a des réserves disponibles). La période de bilan énergétique négatif est généralement de 5 à 10 semaines, et varie selon l'âge et le niveau de production des vaches (FAVERDIN *et al.*, 1987).

La quantité de lipides mobilisables dans des conditions extrêmes est supérieure à 100 kg chez une vache grasse qui possède plus de 140 kg de lipides corporels. Les quantités effectivement mobilisées dans des conditions proches de la pratique par des vaches produisant plus de 30 kg de lait par jour varient généralement entre 15 et 60 kg de lipides (tableau 4), et peuvent dépasser 2 kg par jour en début de lactation.

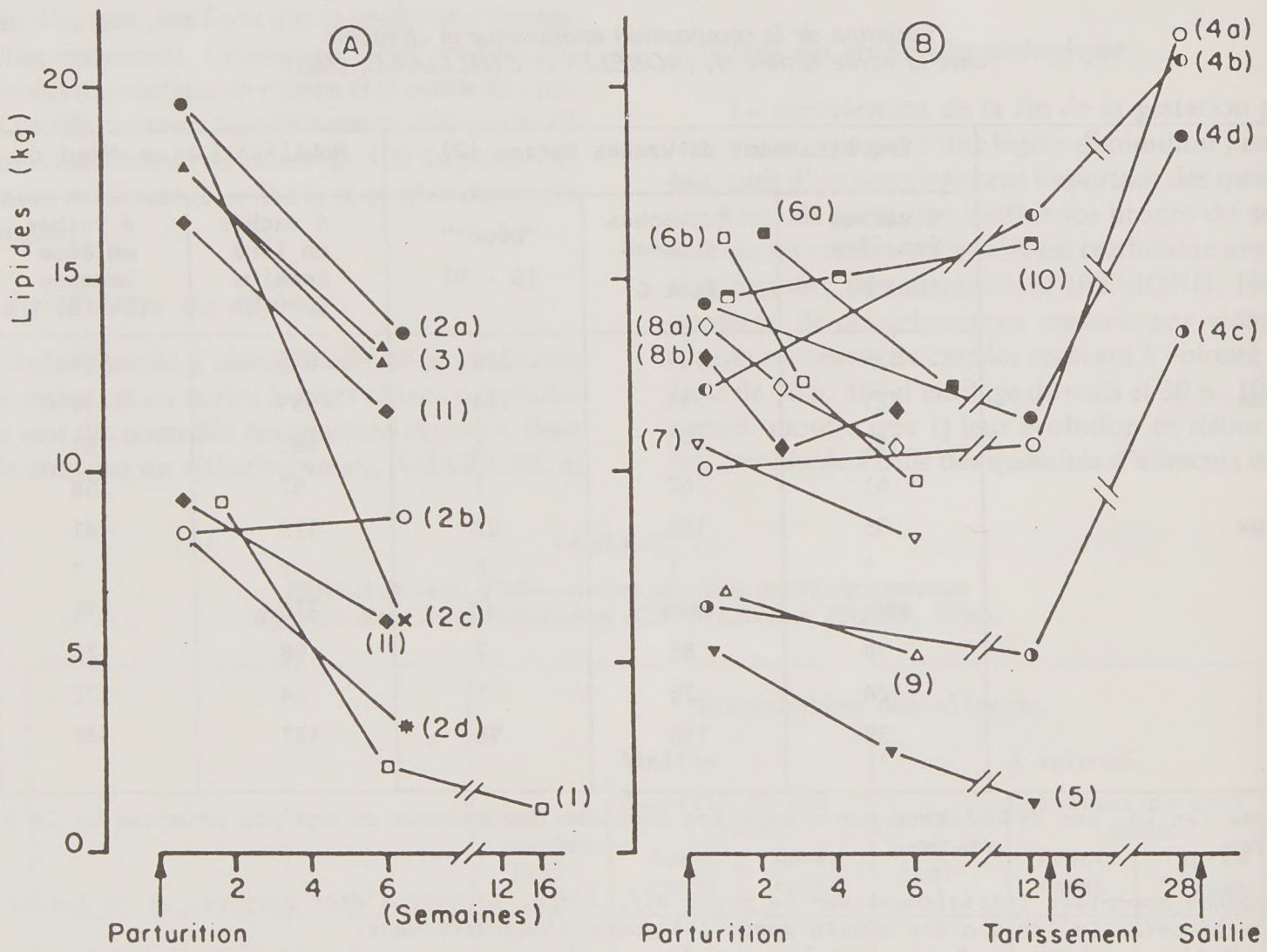


FIG. 1 : *Variations des lipides corporels chez la brebis en lactation (revue de CHILLIARD, 1987).*
A — Mesures après abattage.
B — Mesures en utilisant l'eau lourde.

TABLEAU 4

Poids (kg) des dépôts adipeux (a) ou des lipides corporels estimés in vivo (k, d) chez la vache laitière pendant la lactation.

AUTEURS	Mise - bas	Pic de lactation	Milieu de lactation	Fin de lactation ou taries
ROBELIN et CHILLIARD (1983) CHILLIARD et ROBELIN (1985)(a)	122	41	-	35 à 122
BUTLER-HOGG et al.(1985)(a)	72	40	34 à 72	144
BELYEA et al.(1978)(k)	194	136	153	178
CHILLIARD et al.(1984)(d)	81 à 90	51 à 68	90 à 96	-
MARTIN et EHLE (1986)(d)	89 à 123	73	95	-
VERITE et CHILLIARD, non publié (d)	104 (m) 113 (p)	72 89	- -	104 86

(a) Dépôts adipeux mesurés à l'abattage.

(k) Lipides estimés par mesure du potassium 40.

(d) Lipides estimés en utilisant l'eau deutériée.

(m) Multipares - (p) Primipares.

Voir la revue de CHILLIARD (1987) pour la description des conditions expérimentales.

Une mobilisation limitée des lipides corporels permet aux fortes productrices de réaliser leur potentiel laitier. Toutefois une sous-alimentation excessive (diminution de la production laitière) ou une mobilisation lipidique excessive (déviation du métabolisme hépatique, risques sanitaires, retards de reproduction) sont à éviter.

Les vaches allaitantes de race Hereford × Frisonne produisent peu de lait et ne mobilisent leurs réserves que lorsqu'elles sont sous-alimentées (environ — 20 kg de lipides corporels en 6 semaines chez des vaches produisant moins de 10 kg de lait par jour et recevant une ration couvrant le besoin d'entretien). De même, des lots de vaches Charolaises en fin de gestation ou en lactation recevant des rations différant de 2,5 UFL/j pendant 110 à 130 j présentent des différences de 16 à 20 kg de lipides corporels (AGABRIEL *et al.*, 1985 ; AGABRIEL et PETIT, 1987).

La reconstitution des réserves peut s'effectuer dès que les vaches sont à nouveau en bilan énergétique positif, généralement à partir du 3ème ou 4ème mois de lactation chez les fortes productrices. Une reconstitution de 20 à 3O kg de lipides peut s'effectuer avant le 6ème mois chez des moyennes productrices (25 kg de lait/j). Cette reconstitution précoce des réserves lipidiques a été confirmée par la mesure des activités lipogéniques du tissu adipeux, chez la vache (revue de CHILLIARD, 1987) et la chèvre (CHILLIARD *et al.*, 1987), après le pic de lactation. Le dépôt lipidique pendant la lactation semble être plus faible chez les primipares (Tableau 4).

La reconstitution des réserves chez des vaches laitières ou de races à viande maigres et taries, a été étudiée en début et en fin de période d'engraissement (tableaux 3 et 5). Les quantités de lipides déposées sont voisines dans les différents génotypes (la valeur relative en % du poids corporel étant plus faible chez les Charolaises, dont le format est plus grand).

2. Variations des protéines et de l'eau corporelles

Les variations des protéines corporelles chez la vache en lactation (tableau 6) ont été décrites dans les revues de JOURNET *et al.*, (1983) et CHILLIARD *et al.*, (1983).

Les protéines mobilisables sont d'environ 15 kg chez la vache sous-alimentée en lactation (données obtenues après abattage ou à l'aide de l'eau lourde). La fonte protéique en début de lactation s'accompagne d'une perte d'eau corporelle. Elle est due en partie (56 %) à une fonte musculaire (— 34 kg soit — 8 kg de protéines), le reste de la mobilisation provenant des viscères et organes, y compris l'involution utérine (CHILLIARD et ROBELIN, 1983, et tableau 3). Le tractus digestif ne semble pas participer de façon importante au dépôt ou à la mobilisation des protéines corporelles en cours d'engraissement ou en début de lactation (DOREAU *et al.*, 1985). La mobilisation effective des protéines est probablement faible chez les vaches alimentées à volonté (Tableau 6), et très faible chez les primipares, dont la masse protéique corporelle est plus faible et qui sont encore en phase de croissance.

Les études effectuées en chambres respiratoires suggèrent que la mobilisation protéique en début de lactation est de courte durée (deux à cinq semaines) et ne devient significative que lorsque le bilan énergétique devient inférieur à environ — 5 Mcal/j. Elle représenterait alors de 3 à 13 % des calories mobilisées (SCHIEMANN *et al.*, 1974 ; VAN ES et BOEKHOLT, 1976 ; VERMOREL *et al.*, 1982 et non publié). Des pourcentages un peu supérieurs (de 8 à 17 %) sont obtenus par d'autres méthodes (tableaux 3, 4, 6 et 9). Il est possible qu'une sous-alimentation azotée spécifique puisse permettre de dissocier les mobilisations lipidiques et protéiques mais ces aspects n'ont pas été quantifiés.

L'existence d'une quinzaine de kg de protéines mobilisables en début de lactation ne signifie pas qu'elles puissent être utilisées sans inconvénient pour les performances de la vache.

TABLEAU 5

Dépôts de lipides et protéines corporels chez des vaches taries de races à viande, abattues en états d'engraissement variés.

Race	Croisées Angus (a)			Limousine (b)			Charolaise (c)		
Etat d'engraissement	Maigre	Moyen	Gras	Maigre	Moyen	Gras	Maigre	Moyen	Gras
Poids vif vide (kg)	467	528	564	452	533	558	513	616	643
Lipides	134	171	205	40	96	121	38	108	135
Protéines	-	-	-	81	86	86	94	100	100

(a) FERRELL et JENKINS, 1984a - 15 à 16 vaches par lot.

(b) ROBELIN, MALTERRE et AGABRIEL, non publié - 5 Vaches par lot.

(c) ROBELIN, DUMONT, BONNEMAIRE, ROUX, AGABRIEL, MALTERRE, non publié - 5 vaches par lot.

TABLEAU 6

Variations des protéines corporelles chez la vache en lactation.

Auteurs	Animaux	Stade de lactation et niveau d'alimentation	Durée (sem.)	Méthode de mesure	Variation de protéines (kg)
BATH et al, 1965	3 X 6 H	Pic .Sous-al.	7	Abattage +	- 8
		.Sous-al.	15	densitométrie	- 13
BELYEA et al., 1978	18 - H	Début .Ad Lib.	6	Potassium 40	- 8
		Pleine.Ad Lib.	30		+ 8
CHIGARU et TOPPS, 1981	2 X 12 Hereford X F	Pleine. Sous-al.	6	Eau lourde	- 3
		. Réal.	6		+ 3
CHILLIARD et al., 1983	3 X 4 H X F	Début . Ad Lib.	8	Eau lourde	- 1
		. Sous-al.	8		- 7
		. Sous-al.	8		- 13
		Pleine. Ad Lib.	10		+ 2
		. Ad Lib.	10		+ 4
ROBELIN et CHILLIARD, 1983	2 X 4 H X F	Début .Sous-al.	8	Abattage	- 15
VERITE et CHILLIARD, non publié	9 Multipares H X F	Début . Ad Lib.	9		- 2
		Pleine. Ad Lib.	24	Eau lourde	+ 2
	12 Primipares H X F	Début . Ad Lib.	9		0
		Pleine. Ad Lib.	24		+ 3
SCHIEMANN et al. 1974	96 bilans sur 4 primipares et 10 multipares F	Début .Multipares	6 (a)		- 3
		.Primipares	6 (a)	Bilan azoté	0
		Pic .Multipares	7		+ 1
VERMOREL et al., 1982 et non publié	58 bilans sur 32 vaches H X F	Début	1 (b)	Bilan azoté	- 2 à 0
		Pic	1 (c)		-1 à +1

H : Holstein - F : Frisonnes ; a/ Semaines 2 à 8 ; b/ Semaine 2 ; c/ Semaine 5.

TABLEAU 7

Réserves corporelles totales (composition corporelle), disponibles (maximum mobilisable) et mobilisables sans conséquences sur la production laitière en fonction du potentiel de production et de l'état corporel des vaches pie-noires. (d'après JOURNET et al., 1983 ; CHILLIARD et al., 1983 ; CHILLIARD, 1987 ; REMOND et al. 1988 et non publié ; FAVERDIN et al., 1987)

Potentiel de production (kg/j)	Etat corporel au vêlage (note)	Réserves (kg) (a) Totales		Disponibles		Mobilisables sans conséquences sur la production laitière		Production laitière (kg) permise par (b)	
		Lipides	Protéines	Lipides	Protéines	Lipides	Protéines	Energie	Protéines
20 - 25	Bon (3,5 - 4,0)	135	85	100	15	15-20	0 - 5	150-200	0 - 105
	Médiocre (1,0-1,5)	45	80	15	10	5-10	0 - 5	50-100	0 - 105
35 - 40	Bon (3,5 - 4,0)	135	85	100	15	40-50	5 - 10	400-500	105 - 210
	Médiocre (1,0-1,5)	45	80	15	10	5-10	5	50-100	105

(a) Pour des vaches multipares pesant 650 (bon état) ou 550 (état médiocre) kg au vêlage.

(b) En admettant que l'énergie mobilisée est utilisée avec un rendement de 0,8, et que les protéines mobilisées sont utilisées avec la même efficacité que les PDI.

En effet, les vaches ne réalisent leur potentiel laitier que lorsque le bilan PDI cumulé des deux premiers mois de lactation n'est pas inférieur à — 10 kg (VERITE *et al.,* 1983) et on ne connaît pas les conséquences de cette mobilisation sur la reproduction et la santé des animaux. Par ailleurs, les quantités de protéines redéposées par des vaches taries maigres et réengraissées sont inférieures à 7 kg (Tableau 5) et les dépôts observés chez les vaches en lactation n'excèdent pas 8 kg (Tableau 6). Il semble donc que lorsque la mobilisation a été trop intense, les vaches ne soient pas en mesure de reconstituer totalement leurs protéines corporelles. Ceci pourrait entraîner un épuisement progressif des protéines mobilisables chez des vaches sous-alimentées pendant plusieurs lactations et expliquer la détérioration progressive du rapport entre les muscles et le squelette chez des vaches âgées comparées à celui d'animaux en croissance (ROBELIN, non publié). Ces hypothèses devraient toutefois être confirmées sur un plus grand nombre d'animaux. Elles sont en accord avec le concept général qu'il n'existe que peu de «réserves» protéiques véritables, comparables aux réserves lipidiques (COPPOCK *et al.,* 1968).

Le recoupement des données de composition corporelle présentées ici, et des évolutions de poids vif corrigé et de bilans énergétiques calculés par FAVERDIN *et al.,* (1987) et REMOND et CHILLIARD (non publié) permet une première estimation des quantités mobilisées, selon le niveau de production et l'état d'engraissement (Tableau 7).

La brebis en lactation mobilise aussi ses réserves protéiques. Des mobilisations (mesurées par la méthode des abattages) de 0 à 960 g en six semaines (de 0 à 30 g/j) ont été rapportées, variables selon le niveau d'alimentation, mais non influencées par l'état corporel à la mise-bas, ni par le niveau des apports azotés (COWAN *et al.,* 1980, 1981 ; GEENTY et SYKES, 1986 ; BOCQUIER *et al.,* 1987). Comme chez les vaches, les mobilisations protéiques importantes sont enregistrées chez les brebis qui mobilisent fortement leurs lipides. La mobilisation des protéines corporelles joue probablement un rôle non négligeable dans la satisfaction des besoins en acides aminés de la mamelle et dans l'efficacité d'utilisation de l'énergie mobilisée par la brebis en début de lactation (GEENTY et SYKES, 1986).

3. Estimation in vivo des variations de lipides et de protéines corporels

3.1. Mesure de l'espace de diffusion de l'eau lourde :

Les variations des lipides et des protéines corporels peuvent être estimées en mesurant l'espace de diffusion de l'eau lourde (ROBELIN, 1973). Cette méthode est coûteuse mais précise, en particulier pour suivre l'évolution de la composition corporelle des bovins en croissance (ROBELIN, 1982a). Chez 20 vaches pie-noires taries ou en lactation, abattues et analysées chimiquement, cette méthode permet de prédire les lipides et les protéines corporels avec des écarts types résiduels de 7,5 et 2,0 kg, soit des coefficients de variation résiduels de 9 et 2,5 % respectivement (CHILLIARD et ROBELIN, 1983 - Tableau 8). Des précisions comparables sont obtenues chez 38 brebis sèches, gravides ou en lactation : écarts-types résiduels de 1,2 kg de lipides et 0,4 de protéines, soit des coefficients de variation de 10 % et 6 % respectivement (TISSIER *et al.,* 1983).

TABLEAU 8

Ecarts-type résiduels de la prédiction des lipides corporels par 3 méthodes indirectes in vivo, chez 20 vaches Pie-Noires abattues dans des états d'engraissement variés. (ROBELIN et CHILLIARD, 1983 ; CHILLIARD et ROBELIN, 1983).

Variables utilisées :	
- Espace de diffusion de l'eau lourde et poids vif.	7,5 kg (8,7 %)
- Mesure de la taille des adipocytes (x, x^2), et poids vif.	11,6 kg (13,4 %)
- Note d'état d'engraissement, et poids vif	17,8 kg (20,6 %)

Les vaches possédaient de 5 à 30 % de lipides dans le poids vif vide. Le coefficient de variation résiduel est donné entre parenthèses.

Ces précisions doivent toutefois être considérées comme optimales du fait qu'elles sont obtenues au cours d'étalonnages effectués dans des conditions standardisées, et parce que dans son utilisation courante la méthode est soumise à différents facteurs de variations parfois difficiles à contrôler : 1) la précision de la mesure du poids vif qui entre dans les équations ; 2) les variations de l'eau du contenu digestif ; 3) d'éventuelles variations de la composition de la masse corporelle délipidée (rapport protéines/eau), notamment pendant la gestation et en début de lactation ; 4) la précision de la mesure de la concentration en eau lourde et de sa cinétique d'élimination. En outre, les équations établies sur vaches pie-noires doivent être modulée selon la race des animaux (ROBELIN, MALTERRE et AGABRIEL, non publié), ce qui amène à considérer avec prudence les résultats obtenus par ce type de méthode, lorsqu'il n'y a pas d'étalonnage préalable.

Une méthode voisine et moins onéreuse (mesure de l'espace de diffusion de l'urée) est en cours d'étalonnage à l'INRA, sur vaches, brebis et chèvres.

3.2. Mesure de la taille des cellules adipeuses ou des fibres musculaires :

La mesure de la surface des fibres musculaires a été utilisée par ROBERTS et TURFREY (1983) pour estimer la mobilisation protéique chez la vache en début de lactation. Cette méthode n'a pas été étalonné à notre connaissance, mais peut s'avérer utile pour une approche qualitative.

La mesure de la taille des adipocytes du tissu adipeux sous-cutané permet aussi d'estimer la teneur en lipides de l'animal (ROBELIN, 1982b). Chez la vache adulte, la mesure de la taille des adipocytes du tissu sous-cutané, qui peut être prélevé par biopsie, permet d'estimer les dépôts adipeux totaux (mesures sur 96 vaches de 4 génotypes) avec un écart-type résiduel d'environ 15 kg, soit un CVr de 20 % environ (ROBELIN et AGABRIEL, 1986, et tableau 8). Un écart-type résiduel comparable (15 kg) a été observé en comparant les évolutions de la taille des adipocytes et des lipides estimés en utilisant l'eau lourde, chez 12 vaches laitières à différents stades de lactation (CHILLIARD *et al.*, 1984). Cette méthode n'a pas été étalonnée, à notre connaissance, chez la brebis et la chèvre.

3.3. Notation de l'état d'engraissement :

Plusieurs grilles de notation de l'état d'engraissement des vaches laitières et allaitantes ont été proposées. Leur mise en œuvre dans les conditions françaises a été codifiée par BAZIN *et al.*, (1983) pour les vaches laitières et AGABRIEL *et al.*, (1986) pour les vaches allaitantes. Ces méthodes reposent en premier lieu sur une appréciation subjective de l'importance du gras de couverture. On a donc étudié la relation entre la note d'état et la taille des adipocytes du tissu adipeux sous-cutané. Un accroissement de la note d'un point correspond à un accroissement du diamètre des adipocytes d'environ 20 μ (de 15 à 25 μ selon les essais). L'écart-type résiduel des équations était de 13 μ (196 vaches de race à viande, AGABRIEL *et al.*, 1986) et 15 μ (52 estimations sur 20 vaches laitières, CHILLIARD *et al.*, 1984 et non publié), pour des tailles d'adipocytes essentiellement comprises entre 50 et 100 μ.

L'étalonnage de la notation sur 49 vaches laitières abattues (REMOND *et al.*, 1988) montre qu'un accroissement de la note d'un point s'accompagne d'une augmentation des lipides corporels de 3,9 à 4,4 p. 100 du poids vif ou de 28 à 33 kg de lipides, l'écart-type résiduel de l'équation étant d'environ 23 kg de lipides (CVr de 27 p. 100). Des valeurs comparables, soit de 27 à 38 kg de variation de lipides estimés pour une variation d'un point de note, avaient été obtenues *in vivo* chez la vache en lactation en utilisant l'eau lourde, avec un écart-type résiduel de 16 kg pour 20 évolutions ou 39 mesures instantanées (CHILLIARD *et al.*, 1984, et non publié). Une valeur moyenne de 5,1 points de lipides (eau lourde) p. 100 du poids vif, par point de note, a aussi été observée récemment sur 62 mesures instantanées (VERITE et CHILLIARD, non publié) ainsi qu'une valeur de 26 kg de lipides par point de note sur 42 évolutions. Ces valeurs sont très inférieures à celles (85 kg de lipides) publiées par WRIGHT et RUSSEL (1984a) qui travaillaient avec des animaux abattus, parfois beaucoup plus gras, et une gamme plus restreinte de notes d'état.

Une variation d'un point de note s'accompagne par ailleurs d'une variation de poids vif de 28 à 40 kg chez la vache Salers ou Charolaise (AGABRIEL *et al.*, 1986) et de 35 à 48 kg chez la vache Holstein × Frisonne tarie ou en pleine lactation (GRAINGER *et al.*, 1985 ; REMOND *et al.*, 1988, et non publié), avec les limitations dues aux variations des contenus digestifs.

La relation entre la variation de poids vif (corrigé) et la variation de note est probablement différente en début de lactation, où des variations supérieures à 70 kg de perte de poids vif corrigé par perte de point de note sont observées chez des vaches en bon état corporel au vêlage (REMOND, CHILLIARD, LARNICOL, non publié).

Chez la brebis, on peut prédire la teneur ou la quantité de lipides corporels à partir d'équations utilisant simultanément le poids vif et la note d'état, avec une précision comparable à ce qui est observé chez les vaches laitières (GIBON *et al.*, 1985 ; PURROY *et al.*, 1987). La nécessité d'introduire le poids vif pour la prédiction résulte en partie de la variabilité du format des animaux. Une variation d'un point de la note d'état correspond à un accroissement d'environ 13 % du poids vif (MLC, 1983, cité par BOCQUIER *et al.*, 1987). Dans une gamme de notes de 1,5 à 4,5 chez des brebis Rasa Aragonesa, les dépôts adipeux disséquables varient toutefois de 1 à 21 kg environ, et le poids vif de 34 à 67 kg (TEIXEIRA, 1987).

Dans chaque espèce, un système de notation d'état corporel n'est à priori valable qu'intra-race dans la mesure où l'appréciation du notateur est probablement influencée par le développement des masses musculaires, et du fait que les rapports entre les tissus adipeux internes, intermusculaires et sous-cutanés sont différents selon les races (ROBELIN, 1986 ; WRIGHT et RUSSEL, 1984b). Pour des races assez proches (bovins à viande français) un même système de notation semble toutefois convenir (AGABRIEL *et al.*, 1986).

IV. Estimation de l'équivalence énergétique des variations de poids vif

1. Contenu énergétique des variations de poids vif vide

Les données rassemblées dans le tableau 9 permettent d'estimer la composition en lipides et en protéines des variations de poids vif vide. Les données obtenues par abattages concer-

TABLEAU 9

Composition et valeur énergétique des variations de masse corporelle chez les bovins adultes.

Méthode de mesure	Type d'animaux	Variation de poids vif vide ou corrigé	% lipides	% Protéines	Mcal/kg	Auteurs
Abattages + densitométrie	17 primipares H en lactation (450 kg)	-41 -70	55 62	19 18	6,3 6,8	BATH et al. (1965) et REID et ROBB (1971)
Abattage	8 vaches H x F en lactation (500 kg)	-142	63	10	6,5	ROBELIN et CHILLIARD(1983)
	8 vaches taries H x F (500 kg)	+114	84	6	8,2	cf. Tableau 3
Abattage	73 vaches adultes taries de 5 génotypes (F et races à viande)	± 50 (300 à 400) ± 50 (400 à 500) ± 50 (500 à 600)	60 70 81	10 7 4	6,2 7,0 7,8	WRIGHT et RUSSEL, (1984c)
Abattage	46 vaches taries croisées Angus (530 kg)	-61 +36	61 94	- -	6,4 8,8	FERRELL et JENKINS, (1984a)
Abattage	45 génisses Hereford, gravides ou non (280 kg)	+38 +133	- -	- -	4,6 5,6	FERRELL et al. (1976)
Abattage + Analyse chimique ou dissections	15 vaches taries Charolaises (500 kg)	+103 (1) + 27 (2)	70 100	6 0	6,9 9,4	ROBELIN et al. (non publié) cf. Tableau 5
	15 vaches taries Limousines (450 kg)	+ 81 (1) + 25 (2)	68 100	6 0	6,7 9,4	
Eau lourde	12 génisses Hereford X F (2 lactations successives)(450 kg)	+ 35 (a)	60	8	6,3	CHIGARU et TOPPS (1981)
Eau lourde	10 vaches Hereford X F en lactation(520 kg)	- 51 + 48 (a)	62 23	(7) (17)	6,2 3,1	TRIGG et TOPPS (1981)
Eau lourde	12 vaches taries croisées Angus(500 kg)	- 57 (b) + 71	33 100	- -	4,0 9,0	FERRELL et JENKINS(1984b)
Eau lourde	12 vaches H X F en lactation (500 kg)	-108 (c) - 72 - 28 + 31 + 47	36 40 61 90 81	12 8 4 6 8	4,1 4,2 6,0 8,8 8,1	CHILLIARD et al., (1984)
Eau lourde	15 vaches H X F en lactation (500 kg)	- 60 (d) - 52 + 43 + 61	45 80 62 45	4 0 4 7	4,4 7,5 6,1 4,7	VERITE et CHILLIARD (non publié)

H = Holstein ; F = Frisonne. Les vaches abattues sont analysées chimiquement, sauf précision. ( ) = Valeur estimée ; 1/ début de la période d'engraissement ; 2/ fin de la période d'engraissement ; a/ poids vif non corrigé ; b/ poids vif vide estimé d'après la première composante de la cinétique d'élimination de l'eau lourde ; c/ poids vif vide estimé après vidage complet du rumen ; d/ poids vif vide estimé d'apèrs l'ingestion de matière sèche ; c/ et d/ pertes en début de lactation et gains en pleine lactation.

nent surtout l'engraissement de vaches taries de races à viande, et les données relatives aux vaches en lactation ont essentiellement été obtenues à l'aide de l'eau lourde, en corrigeant les poids vifs de façons variables.

Le gain d'un kg de poids vif vide contient d'autant plus de protéines et d'eau et d'autant moins de lipides et d'énergie que les animaux sont au départ moins âgés, plus légers et plus maigres. Des valeurs de 6 à 7 Mcal/kg sont obtenues en début d'engraissement de vaches adultes maigres, et de 8 à 9 Mcal/kg en fin d'engraissement de vaches grasses (tableau 10). Le contenu énergétique de la perte d'un kg de poids est de 6-7 Mcal/kg lors de mesures après abattage de vaches fortement sous-alimentées qui ont mobilisé beaucoup de protéines. Il serait probablement plus élevé lors de sous-alimentations moins intenses.

Les valeurs obtenues en utilisant l'eau lourde chez des vaches allaitantes en pleine lactation, ou des vaches laitières en début (perte) ou pleine lactation (gain) sont plus variables et généralement plus faibles que celles obtenues après abattages (tableaux 9 et 10). Chez des vaches Charolaises modérément sous alimentées pendant 4 mois, la perte de lipides estimée à partir des tailles d'adipocytes ne représente que de 45 à 63 p. 100 de la perte de poids vif (AGABRIEL et PETIT, 1987), ce qui peut représenter un équivalent énergétique de 5 à 6,5 Mcal/kg.

Les valeurs obtenues en utilisant l'eau lourde peuvent être comparées avec celles obtenues à partir des bilans énergétiques calculés sur les mêmes animaux pendant la même période (figure 2). Il apparaît une bonne concordance entre les 2 approches pour les périodes de gain de poids, suggérant que les valeurs extrêmes peuvent être dues soit à une faible valeur énergétique du gain de masse corporelle, soit à des variations du contenu digestif. Par contre, les valeurs obtenues en utilisant l'eau lourde en période de perte de poids sont généralement plus faibles. Ces résultats devraient conduire à l'avenir à préciser la plage de variation du rendement d'utilisation de l'énergie mobilisée pour la production laitière (actuellement fixé à 0,8), ainsi qu'à mieux évaluer les relations lipides — eau — protéines chez l'animal qui mobilise ses réserves, et les facteurs de variation des contenus digestifs.

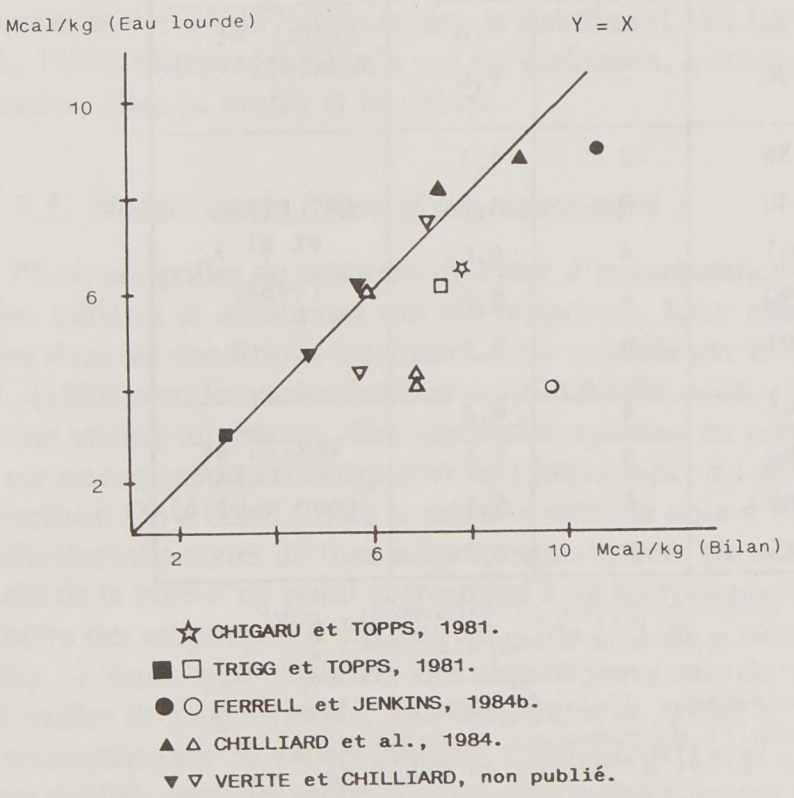


FIG. 2 : *Comparaison des équivalents énergétiques des variations de poids, estimés en calculant le bilan énergétique (X) ou en utilisant l'eau lourde (Y) (cf. tableau 9).*
Symbôles pleins = gain de poids.
Symbôles vides = perte de poids.

Des problèmes analogues sont rapportés chez la brebis en lactation (BOCQUIER *et al.*, 1987), dont la variation d'énergie corporelle (estimée par l'eau lourde) par kg de gain ou de perte de poids est comprise entre 3 et 21 Mcal/kg selon différents facteurs, et en particulier selon la valeur d'encombrement du régime (variation des contenus digestifs). Une valeur de 4,8 Mcal/kg (proche de celles du tableau 10 avec l'eau lourde) est observée lorsque les brebis reçoivent un régime constant.

TABLEAU 10

Contenu énergétique (Mcal/kg) des variations de masse corporelle. (voir le texte et le tableau 9).

Etat physiologique		Abattages	Autres méthodes
Engraissement	génisses	5 - 6	-
	vaches maigres	6 - 7	5 - 9 (D)
	Vaches grasses	8 - 9	
Amaigrissement		6 - 7 (*)	4 - 5 (D) 5 - 6,5 (A)

(*) Fortes mobilisations.
(D) Mesures utilisant l'eau lourde.
(A) A partir de la taille des adipocytes.

2. Equivalence énergétique des variations de poids lors d'essais d'alimentation

L'équivalence énergétique des variations de poids peut être calculée de plusieurs façons : sur la base du poids vif ou du poids vif corrigé pour les variations des contenus digestifs ; par régression intra-essai sur les valeurs individuelles ou par régression inter-essais ou inter-lots sur les valeurs moyennes ; par calcul de la droite de régression classique (Y = f (X)) ou par calcul de l'axe principal (bissectrice des 2 droites de régression Y = f (X) et X = f (Y)) ; par régression non linéaires.

Par régressions intra-essai sur les valeurs individuelles de vaches laitières, l'équivalent énergétique de la perte d'un kg de poids vif est comprise entre 2,6 et 5,0 UFL (3,5 UFL en moyenne) et cette valeur est comprise entre 2,3 et 7,4 UFL (3,5 UFL en moyenne) pour le gain (Tableau 11). La pente et l'ordonnée à l'origine des régressions peuvent différer selon le niveau d'alimentation et l'état d'engraissement des vaches. Des valeurs proches de 5 UFL/kg de perte de poids vif sont obtenues sur vaches allaitantes de races à viande (AGABRIEL et PETIT, 1987 ; SOMERVILLE *et al.*, 1983).

La reprise des valeurs de 44 lots de vaches laitières (Figure 3) suggère une valeur inter-lots et inter-essais de 6,1 UFL/kg de gain ou de perte de poids vif. Si ce même calcul est effectué avec le poids vif corrigé pour les variations de contenus digestifs (37 lots), cette valeur est de 4,1 UFL par kg de gain ou perte, alors que les valeurs dérivées de l'équation du second degré sont d'environ 5,1 UFL par kg de gain et 3,6 UFL par kg de perte (Figure 4).

Le calcul effectué sur 28 lots de vaches allaitantes de races à viande (figure 5) indique une valeur de 5,5 UFL par kg de gain ou de perte de poids vif brut (valeurs anglaises) ou corrigé

TABLEAU 11

Relations intra-essais entre le bilan énergétique calculé (apports - besoins) (UFL, Y) et la variation de poids vif (kg, X) de la vache en lactation.

Auteurs	Stades de lactation (a)	Equation (Y = aX + b)	R^2	Nombre de données
VERITE, 1975	Milieu	Y = 3,6 X + b	-	3 essais 64 vaches
MAFF (1975) (c)	Début Milieu	Y = 3,9 X + b Y = 2,8 X + b	- -	- -
ARC (1980) (c)	-	Y = 3,6 X + b	-	-
ALDERMAN et al. (1982)	Début Milieu	Y = 4,1 X + 0,4 Y = 2,3 X + 0,5	0,50 0,19	6 essais 205 Primipares
	Début Milieu	Y = 2,6 X - 1,1 Y = 7,4 X + 0,2	0,65 0,48	6 essais 117 Multipares
REMOND, CHILLIARD LARNICOL, non publié	Début Milieu	Y = 2,8 X - 1,5 (d) Y = 2,3 X + 2,5 (e)	0,84 0,30	50 Multipares
REMOND, CHILLIARD FOISSEY, non publié	Début Début	Y = 2,6 X + b Y = 3,5 X + b	- -	24 vaches ad libitum 23 vaches restreintes
VERITE et al., non publié	Début Milieu	Y = 5,0 X + 1,7 Y = 2,6 X - 0,2	0,43 0,45	20 vaches 21 vaches

(a) Début = 2 à 3 premiers mois de lactation, et généralement perte de poids. Milieu = après le 2ème mois de lactation.

(c) Cités par ALDERMAN et al. (1982).

(d) Le terme constant (-1,5) est de -0,3 pour les lots alimentés ad libitum, et de -2,7 pour les lots restreints.

(e) Le terme constant (+ 2,5) est de 2,0 pour les lots "gras" et de 3,0 pour les lots "maigres".

(valeurs françaises), avec toutefois une ordonnée à l'origine de 1,3 UFL (bilan énergétique calculé pour un poids constant) (voir la discussion sur les besoins d'entretien, AGABRIEL et PETIT, 1987).

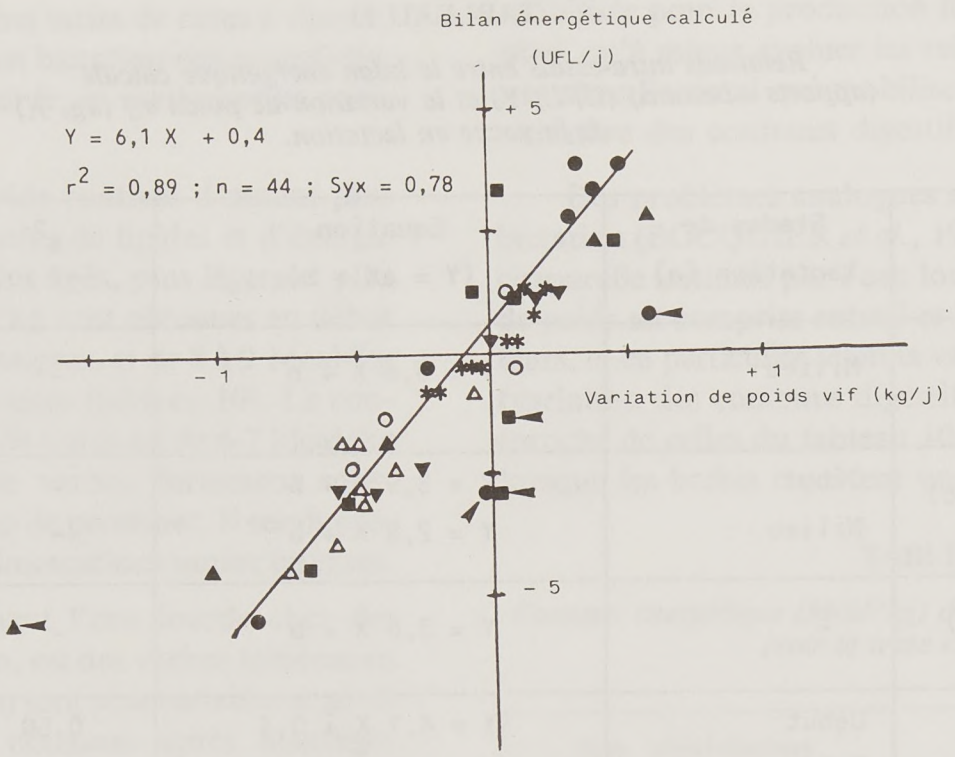
Il ressort des résultats obtenus sur les vaches laitières que les valeurs intra-essai et intra-lots sont plus faibles que les valeurs inter-essais et inter-lots. Ceci peut résulter du mode de calcul (différence importante entre l'axe principal et la droite de régression classique, lorsque la corrélation n'est pas très élevée), ainsi que de variations inter-lots ou inter-essais des méthodes de calcul des bilans, et des variations de contenus digestifs puisque les valeurs inter-lots diminuent de 1 à 2,5 UFL par kg de gain ou de perte lorsqu'on corrige le poids vif (figures 3 et 4).

Les valeurs obtenues par calcul des bilans peuvent en outre varier fortement selon les corrections adoptées pour tenir compte des interactions digestives négatives avec les rations riches en concentrés (VERMOREL *et al.*, 1987). La comparaison des valeurs des tableaux 9, 10, 11 et des figures 3, 4, 5 nous conduit à proposer en définitive les valeurs moyennes du tableau 12 : 3,5 UFL par kg de perte de poids vif corrigé ; 4,5 UFL par kg de gain de poids vif corrigé et de 4 à 6 UFL par kg de perte ou de gain de poids vif non corrigé. Ceci conduit à proposer aussi un équivalent énergétique de 150 UFL pour la perte et de 200 UFL pour le gain d'un point de note d'état corporel.

Ces valeurs moyennes ne doivent pas cacher les importantes variations entre essais, entre lots d'animaux, entre types de régimes (fourrages, concentrés) et entre individus, qu'il n'est pas encore possible d'intégrer dans un modèle général.

3. Rendements d'utilisation de l'énergie métabolisable

On admet généralement que l'énergie corporelle mobilisée est utilisée pour la sécrétion lactée avec un rendement de 0,8, et que l'énergie métabolisable est déposée sous forme de tissus



✱ **VAN DER HONING et al., 1977.** (10 lots, 1 période).

O **ALDERMAN et al., 1982** (322 vaches, 2 lots, 2 périodes).

▲ **CHILLIARD et al., 1984** (12 vaches, 3 lots, 2 périodes).

● **REMOND, CHILLIARD, LARNICOL, n.p.** (50 vaches, 4 lots, 2 périodes).

■ **REMOND, CHILLIARD, FOISSEY, n.p.** (47 vaches, 4 lots, 2 périodes).

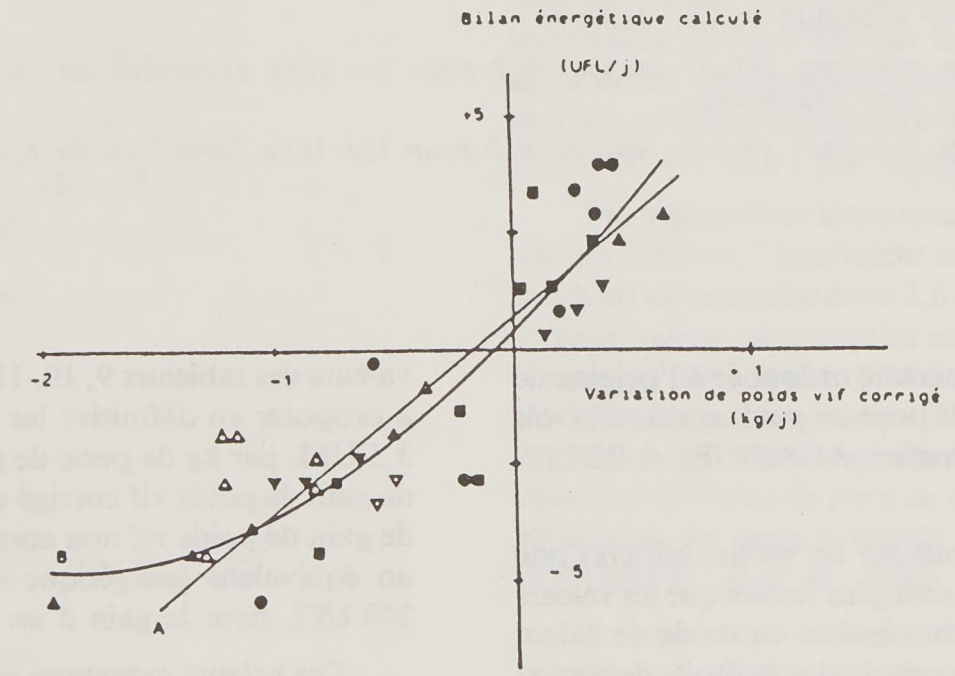
▼ **VERITE et al., n.p.** (21 vaches, 3 lots, 2 périodes).

△ **FAVERDIN et al., 1987** (656 vaches, 8 lots, 1 période).

►5 lots de vaches maigres en début de lactation, non pris en compte pour le calcul de la régression.

La première période correspond généralement aux 2-3 premiers mois de lactation.

FIG. 3 : *Relation entre la variation de poids vif et le bilan énergétique (apports - besoins) chez la vache laitière.*



(Voir la légende de la figure 3 ; ▽. COULON, 1981, 43 Vaches, 2 lots, 1 période).

A/ $Y = 4,1\ X + 0,8$; $R^2 = 0,78$, n = 37 , Syx = 1,2

B/ $Y = 4,8\ X + 1,2\ X^2 + 0,38$; $R^2 = 0,81$; Syx = 1,2

FIG. 4 : *Relation entre la variation de poids vif corrigé et le bilan énergétique chez la vache laitière.*

TABLEAU 12

Estimations moyennes de l'équivalent énergétique des variations de poids et d'état corporel. (cf. Tableaux 9 à 11 et Figures 3 à 5).

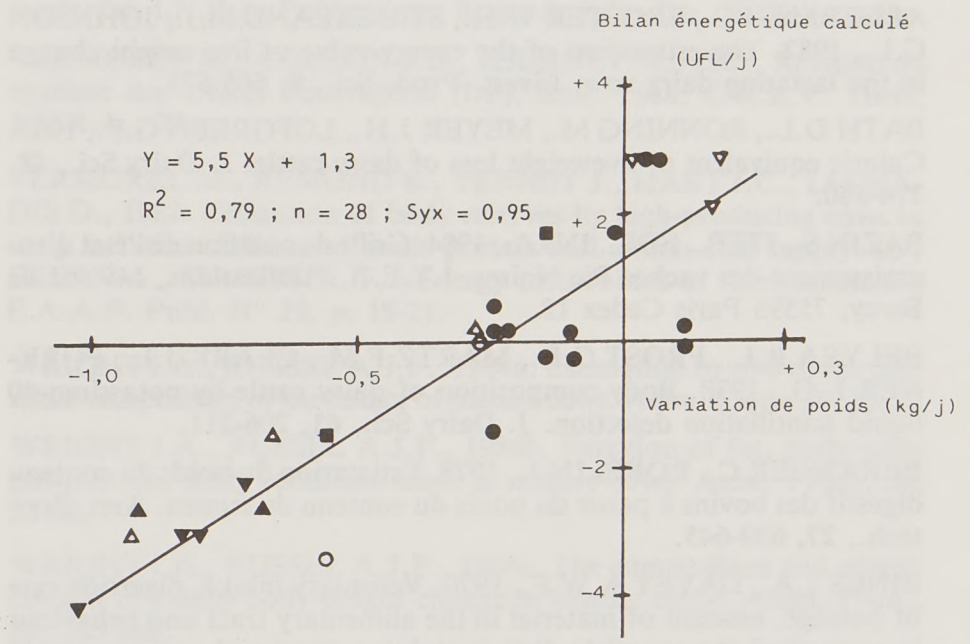
	Gain de poids	Perte de poids
1/ par kg de poids corrigé :		
- Abattages	7 à 8,5 Mcal/kg soit 4 à 5 UFL/kg (1)	6,5 à 8,0 Mcal/kg soit 3 à 3,7 UFL/kg (2)
- Bilans énergétiques calculés	4,1 à 5,1 UFL/kg	3,6 à 4,1 UFL/kg
- Estimation moyenne	**4,5 UFL/kg**	**3,5 UFL/kg**
2/ par kg de poids vif	4 à 6 UFL/kg (3)	
3/ par point de note d'état corporel	200 UFL	150 UFL

(1) En supposant que kf = kl = 0,6.

(2) En supposant que l'énergie mobilisée est utilisée avec un rendement de 0,8.

(3) Valeur sujette à des grandes variations.

avec un rendement voisin de 0,6 (kl) pendant la lactation et de 0,45 (kf) pendant la période sèche (VERMOREL, 1978 ; CHILLIARD *et al.*, 1983). Les études récentes sur vaches adultes taries (GEAY *et al.*, 1987) suggèrent toutefois que l'efficacité du dépôt est aussi voisine de 0,6 pendant la période sèche. Ceci s'explique par la richesse en lipides et la pauvreté en protéines du gain de poids des vaches adultes (kf = 0,60 pour 100 p. 100 de lipides et 0 p.100 de protéines ; kf = 0,58 pour 5 p. 100 de protéines dans le gain, GEAY *et al.*, 1987). Les vaches maigres doivent toutefois reconstituer leurs réserves avant la période sèche puisqu'il faut de 50 à 70 jours pour regagner un point de note d'état, et que la capacité d'ingestion des vaches est limitée pendant les dernières semaines de gestation, alors que le besoin de l'utérus gravide s'accroît.



▽ revue de **PETIT, 1978** (292 vaches Hereford, 3 lots).

○ **PETIT et GAREL, cités par PETIT, 1978** (46 vaches Salers, 2 lots).

● **PETIT et MICOL, 1981** (64 vaches Charolaises, Salers et Aubrac, 6 lots 2 périodes).

▼ **CHIGARU et TOPPS, 1981** (12 vaches Hereford x Frisonnes, 2 lots, 2 années).

▲ **TRIGG et TOPPS, 1981** (10 Vaches Hereford x Frisonnes, 2 lots).

△ **SOMERVILLE et al., 1983** (52 vaches Hereford x Frisonnes, 122 lactations, 3 lots).

■ **AGABRIEL et al., 1985** (9 Vaches Charolaises, 2 lots).

FIG. 5 : *Relation entre la variation de poids et le bilan énergétique chez la vache allaitante de race à viande.*

Conclusion

Les variations de poids vif, de poids des contenus ruminal, intestinal, utérin et mammaire, et de composition corporelle (lipides, eau, protéines) sont sujettes à de très nombreux facteurs de variation parfois mal connus et généralement difficiles à quantifier, ce qui explique la variabilité des résultats disponibles sur ce sujet. Par ailleurs, les bilans énergétiques calculés sont probablement entachés d'erreurs relativement importantes, du fait des nombreux coefficients et facteurs correctifs à utiliser.

Les variations de poids vif sont parfois peu informatives. Ainsi, pendant la première semaine de lactation, le poids vif d'une vache saine varie peu (FAVERDIN, non publié) malgré les bouleversements qui accompagnent le début de la lactation, mais agissent en sens opposés : augmentation des contenus digestifs et mammaire, diminution du poids de l'utérus et moblisation des réserves corporelles. Les variations de composition corporelle peuvent varier selon l'âge et l'état initial de l'animal, les vitesses de perte ou de gain (le bilan nutritionnel quotidien), la durée des périodes de perte ou de gain, le stade de lactation ou de gestation.

La variation des contenus digestifs est d'environ 4 kg par kg de matière sèche avec les régimes à base d'ensilage de maïs, et probablement supérieure avec les régimes à base de foin. Dans l'état actuel des connaissances les équivalents énergétiques des pertes et des gains sont estimés respectivement à 3,5 UFL et 4,5 UFL (par kg de poids vif corrigé pour les variations de contenus digestifs), à 4-6 UFL par kg de poids vif, et à 150 et 200 UFL par point de note d'état corporel.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Mesdames Y. Fournier, L. Souchet et J. Flechet pour leur aide à la préparation du manuscrit.

Références bibliographiques

A.R.C., 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, Grande-Bretagne.

AGABRIEL J., GIRAUD J.M., 1988. Contenu ruminal de la vache charolaise. Influence d'une brusque variation du niveau alimentaire. Reprod. Nutr. Dévelop., sous presse.

AGABRIEL J., PETIT M., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **70.**

AGABRIEL J., BRUNEAU S., PETIT M., CHILLIARD Y., 1985. Variations de la composition corporelle de la vache allaitante au début de la lactation. (Résultats préliminaires). In BRUNEAU S., Mémoire de D.E.A. Univ. Montpellier. Station des Productions Bovines et Chevalines I.N.R.A. Theix, 63122 Ceyrat.

AGABRIEL J., GIRAUD J.M., PETIT M. 1986. Détermination et utilisation de la note d'état d'engraissement en élevage allaitant. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **66**, 43-50.

ALDERMAN G., BROSTER W.H., STRICKLAND M.J., JOHNSON C.L., 1982. The estimation of the energy value of live weight change in the lactating dairy cow. Livest. Prod. Sci., **9**, 665-673.

BATH D.L., RONNING M., MEYER J.H., LOFGREEN G.P., 1965. Caloric equivalent of liveweight loss of dairy cattle. J. Dairy Sci., **48**, 374-380.

BAZIN S., ITEB., EDE., INRA., 1984. Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches Pie Noires. I.T.E.B. Publications, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12.

BELYEA R.L., FROST G.R., MARTZ F.M., CLARK J.L., FORKNER L.G., 1978. Body composition of dairy cattle by potassium-40 liquid scintillation detection. J. Dairy Sci., **61**, 206-211.

BERANGER C., ROBELIN J., 1978. Estimation du poids du contenu digestif des bovins à partir du poids du contenu du rumen. Ann. Zootech., **27**, 639-645.

BINES J.A., DAVEY A.W.F., 1970. Voluntary intake, digestion rate of passage, amount of material in the alimentary tract and behaviour in cows receiving complete diets containing straw and concentrates in different proportions. Br. J. Nutr., **24**, 1013-1028.

BOCQUIER F., THERIEZ M., BRELURUT A., 1987. Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **70**.

BUTLER-HOGG B.W., WOOD J.D., BINES J.A., 1985. Fat partitioning in Bristish Friesian cows : the influence of physiological state on dissected body composition. J. agric. Sci., Camb., **104**, 519-528.

CAMPLING R.C., FREER M., 1966. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 8. Experiments with ground, pelleted roughages. Br. J. Nutr., **20**, 229-243.

CHIGARU P.R.M., TOPPS J.H., 1981. The composition of body weight changes in underfed lactating beef cows. Anim. Prod., **32**, 95-103.

CHILLIARD Y., 1987. Revue bibliographique : variations quantitatives et métabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au cours du cycle gestation-lactation. 2ème partie : chez la brebis et la vache. Reprod. Nutr. Dévelop., **27**, 327-398.

CHILLIARD Y., ROBELIN J., 1983. Protein mobilization in early lactating cows measured by slaughter and D20 dilution techniques. Int. Symp. «Protein metabolism and nutrition». Clermont-Ferrand, France. E.A.A.P. Publ. N° 31, Vol. 2, 195-198.

CHILLIARD Y., ROBELIN J., 1985. Activité lipoprotéine-lipasique de différents dépôts adipeux et ses relations avec la taille des adipocytes chez la vache tarie en cours d'engraissement, ou en début de lactation. Reprod. Nutr. Dévelop., **25**, 287-294.

CHILLIARD Y., REMOND B., SAUVANT D., VERMOREL M., 1983. Particularités du métabolisme énergétique des hautes productrices de lait. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **53**, 37-64.

CHILLIARD Y., ROBELIN J., REMOND B., 1984. In vivo estimation of body lipid mobilization and reconstitutsion in dairy cattle. Can. J. Anim. Sci., **64**, (Suppl.), 236-237.

CHILLIARD Y., SAUVANT D., MORAND-FEHR P., DELOUIS C., 1987. Relations entre le bilan énergétique et l'activité métabolique du tissu adipeux de la chèvre au cours de la première moitié de la lactation. Reprod. Nutr. Dévelop., **27**, 307-308.

COPPOCK C.E., TYRRELL H.F., MERRILL W.G., REID J.T., 1968. The significance of protein reserve to the lactating cow. Proc. Cornell. Nutr. Conf. Feed. Manuf., 86-94.

COULON J.B., 1981. Capacité d'ingestion des vaches laitières au début de la lactation : évolution et liaison avec certains paramètres comportementaux, digestifs, métaboliques et sanitaires. Thèse E.N.S.A. Montpellier. Laboratoire de la Production Laitière, I.N.R.A. Theix.

COWAN R.T., ROBINSON J.J., Mc DONALD I., SMART R., 1980. Effects of body fatness at lambing and diet in lactation on body tissue loss, feed intake and milk yield of ewes in early lactation. J. agric. Sci., Camb., **95**, 497-514.

COWAN R.T., ROBINSON J.J., Mc HATTIE I., PENNIE K., 1981. Effects of protein concentration in the diet on milk yield, change in body composition and the efficiency of utilization of body tissue for milk production in ewes. Anim. Prod., **33**,, 111-120.

DOREAU M., ROBELIN J., LESTRADE A., 1985. Effects of physiological state and body fatness on digestive tract weight and composition in the dairy cow. Livest. Prod. Sci., **12**, 379-385.

FAVERDIN P., HODEN A., COULON J.B., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches laitières. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **70**.

FERRELL C.L., GARRETT W.N., HINMAN N., GRICHTING G., 1976. Energy utilization by pregnant and non-pregnant heifers. J. anim. Sci., **42**, 937-950.

FERRELL C.L., JENKINS T.G., 1984a. Relationships among various body components of mature cows. J. anim. Sci., **58**, 222-233.

FERRELL C.L., JENKINS T.G., 1984b. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. J. anim. Sci., **58**, 234-243.

GEAY Y., MICOL D., ROBELIN J., BERGE P., MALTERRE C., 1987. Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **70**.

GEENTY K.G., SYKES A.R., 1986. Effects of herbage allowance during pregnancy and lactation on feed intake, milk production, body composition and energy utilization of ewes at pasture. J. agric. Sci., Camb., **106**, 351-367.

GIBON A., DEDIEU B., THERIEZ M., 1985. Les réserves corporelles des brebis. Stockage, mobilisation et rôle dans les élevages en milieu difficile. 10èmes Journées Rech. Ovine et Caprine, INRA-ITOVIC, 178-212.

GRAINGER C., HOLMES C.W., MOORE Y.F., 1985. Performance of Friesian cows with high and low breeding indexes. 2. Energy and nitrogen balance experiments with lactating and pregnant, non-lactating cows. Anim. Prod., **40**, 389-400.

JARRIGE R., PETIT M., TISSIER M., 1978. Reproduction, gestation, lactation, 229-243. In : Alimentation des Ruminants, I.N.R.A. Publ., 78000 Versailles.

JOURNET M., CHAMPREDON C., PION R., VERITE R., 1983. Physiological basis of the protein nutrition of high producting cows. Critical analysis of the allowances. IVth Int. Symp : «Protein Metabolism and Nutrition». Clermont-Ferrand (France), E.A.A.P. Publ. N° 31, Vol. 1, 433-447.

MARTIN R.A., EHLE F.R., 1986. Body composition of lactating and dry Holstein cows estimated by deuterium dilution. J. Dairy Sci., 69, 88-98.

Mc CARRICK R.B., 1966. Effect of method of grass conservation and herbage maturity on performance and body composition of beef cattle. Int. Grass. Congr. 10, Helsinki, 575-580.

PETIT M., 1978. Vaches Nourrices, 377-402. In : Alimentation des Ruminants. Ed. I.N.R.A. Publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

PETIT M., MICOL D., 1981. Evaluation of energy requirements of beef cows during early lactation. Livest. Prod. Sci., **8**, 139-153.

PURROY A., BOCQUIER F., GIBON A., 1987. Méthodes d'estimation de l'état corporel chez les brebis. Symposium «Phyloetios» sur l'Evaluation des Ovins et des Caprins Méditerranéens. Fonte Boa (Santarem, Portugal) 23-25 Septembre 1987.

REID J.T., ROBB J., 1971. Relationship of body composition to energy intake and energetic efficiency. J. Dairy Sci., **51**, 553-564.

REMOND B., 1988. Evolution du poids du contenu du reticulo rumen chez les vaches laitières au cours des 2 premiers mois de la lactation. Reprod. Nutr. Dévelop., sous presse.

REMOND B., ROBELIN J., CHILLIARD Y., 1988. Estimation de la teneur en lipides de vaches laitières Pie Noires par la méthode de notation de l'état d'engraissement. INRA-Prod. Anim., 1, sous presse.

ROBELIN J., 1973. Estimation de la composition corporelle des animaux à partir des espaces de diffusion de l'eau marquée. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., **13**,, 285-305.

ROBELIN J., 1982a. Relation entre l'espace de diffusion de l'eau lourde mesurée in vivo et le volume hydrique corporel des bovins en croissance. Reprod. Nutr. Dévelop., **22**, 65-73.

ROBELIN J., 1982b. A note on the estimation in vivo of body fat in cows using deuterium oxide or adipose cell size. Anim. Prod., **34**, 347-350.

ROBELIN J., 1986. Bases physiologiques de la production de viande : croissance et développement des bovins. In : D. MICOL Ed., «Production de Viande Bovine», I.N.R.A. Paris, 35-59.

ROBELIN J., AGABRIEL J., 1986. Estimation de l'état d'engraissement des bovins vivants à partir de la taille des cellules adipeuses. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **66**, 37-41.

ROBELIN J., CHILLIARD Y., 1983. Composition corporelle de la vache adulte en début de lactation ou en cours d'engraissement, mesurée par analyse chimique du corps entier. Résultats non publiés, cités par CHILLIARD *et al.*, 1983.

ROBERS C.J., TURFREY B.A., 1983. Muscle fibre area as an indicator of protein mobilisation in early lactation. IVth. Int. Symp. Protein metabolism and nutrition, Clermont-Ferrand (France), Ed. INRA Publ., II, 191-194 (les Colloques de l'INRA, N° 16).

SCHIEMANN R., HENSELER G., JENTSCH W., WITTENBURG H., 1974. Die Verwertung der Futterenergie fur die Milchproduktion. 8. Mitteilung : Energieumsatz-messungen an Holchleistungskuhen im Fruhstadium der Laktation. Arch. Tierernahr., **24**, 105-137.

SOMERVILLE S.H., LOWMAN B.G., EDWARDS R.A., 1983. A study of the relationship between plane of nutrition during lactation and certain production characteristics in autumn-calving suckler cows. Anim. Prod., **37**, 353-363.

TEIXEIRA A.J.C., 1987. Reparto de la grasa en function de la condition corporal (body condition) en ovejas adultas Rasa Aragonesa. Master Sci., CIHEAM, Saragosse, Espagne.

THERIEZ M., BOCQUIER F., BRELURUT A., 1987. Recommandation alimentaires pour les brebis à l'entretien et pendant la gestation. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **70**.

TISSIER M., THERIEZ M., PURROY A., BOCQUIER F., 1983. Estimation in vivo de la composition corporelle de la brebis par la mesure de l'espace de diffusion de l'eau lourde. Reprod. Nutr. Develop., **23**, 693-707.

TRIGG T.E., TOPPS J.H., 1981. Composition of body weight change during lactation in Hereford × Friesian cow. J. agric. Sci., Camb, **97**, 147-157.

VAN ES A.J.H., BOEKHOLT H.A., 1976. Protein requirements in relation to the lactation cycle. In D.J.A. COLE *et al.*, «Protein Metabolism and Nutrition», p. 441-445 (Butterworths, London).

VAN der HONING Y., STEG A., VAN ES A.J.H., 1977. Feed evaluation for dairy cows : Tests on the system proposed in the Netherlands. Livest. Prod. Sci., **4**, 57-67.

VERITE R., 1975. Utilisation comparée pour la production de lait de 3 rations à base de betteraves, de pulpes de betteraves ou d'ensilage de maïs : Utilisation de l'énergie et aspects digestifs et métaboliques. Ann. Zootech., **24**, 373-390.

VERITE R., DULPHY J.P., JOURNET M., 1983. La complémentation azotée des rations d'ensilage pour les vaches laitières. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **52**, 43-52.

VERMOREL M., 1978. Energie, 47-88. In : Alimentation des Ruminants, Ed. I.N.R.A. Publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du système des Unités Fourragères (UF). Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., **70**.

VERMOREL M., REMOND B., VERNET J., HART I.C., LIAMADIS D., 1982. Utilisation of body reserves by high-producing cows in early lactation. Effects of crude protein and amino-acid supply. In : EKERN A., SUNDSTOL F. «Energy metabolism of farm animals», E.A.A.P. Publ. N° 29, p. 18-21.

WRIGHT I.A., RUSSEL A.J.F., 1984a. Estimation in vivo of the chemical composition of the bodies of mature cows. Anim. Prod., **38**, 33-34.

WRIGHT I.A., RUSSEL A.J.F., 1984b. Partition of fat, body composition and body condition score in mature cows. Anim. Prod., **38**, 23-32.

WRIGHT I.A., RUSSEL A.J.F., 1984c. The composition and energy content of empty body-weight change in mature cattle. Anim. Prod., **39**, 365-369.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 133-152

Recommandations alimentaires pour les vaches laitières

Ph. FAVERDIN, A. HODEN, J.B. COULON *
Avec la collaboration de Myriam GESLIN

INRA-Saint-Gilles, Station de Recherches sur la Vache Laitière, 35590 L'Hermitage.
** INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Lactation, 63122 Ceyrat.*

Les principes du rationnement des vaches laitières et leur transposition dans la pratique étaient déjà connus pour l'essentiel en 1978 (ouvrage de l'Alimentation des Ruminants, livre sur la Vache Laitière). Mais depuis cette date, des modifications importantes sont intervenues dans la structure et la conduite des troupeaux laitiers, et les connaissances se sont améliorées.

La taille moyenne des troupeaux et surtout la production laitière individuelle ne cessent de s'accroître. Ainsi, en France, la quantité de lait produite par vache augmente de plus de 125 kg par an sous les effets simultanés du potentiel génétique des vaches, des méthodes de conduite des troupeaux et de l'amélioration de l'état sanitaire (revue de JARRIGE, 1987). Ces changements ont aussi influencé les méthodes de rationnement des troupeaux laitiers avec une recherche de la simplification du travail et d'une réduction de la main d'œuvre. Par ailleurs, la limitation de la production laitière dans les exploitations, entraînée par la politique des quotas, risque de modifier la manière d'alimenter les troupeaux.

Enfin, les recherches menées au cours de la dernière décennie permettent de disposer de données plus nombreuses et plus fiables concernant les vaches à fort potentiel alimentées dans diverses conditions de milieu et de régimes.

Notre objectif est 1) de réactualiser les données de production et de consommation à partir des résultats obtenus à l'INRA et d'en indiquer les conséquences au niveau de la conduite des troupeaux ; 2) d'intégrer dans les méthodes de rationnement des vaches laitières les nouvelles possibilités offertes par les systèmes (UFL, PDI, UE) permettant notamment de mieux préciser les effets des apports d'aliments concentrés.

I. Données de base de l'étude

La majorité des données récentes disponibles concernant les variations de production (quantités et composition du lait), de consommation et de poids vif ont été rassemblées selon les trois grands facteurs suivants :

— l'âge des animaux (primipares, multipares),
— leur niveau de production,
— leur stade de lactation, avec une attention particulière pour les premiers mois qui constituent une période critique.

Quatre grands fichiers de base ont ainsi été construits à partir des résultats individuels (n = 2238) obtenus depuis environ 10 ans sur des troupeaux laitiers de l'INRA (tableau 1) dont les vêlages se situent d'Octobre (primipares) à Mars.

Les fichiers I, II et III ont pour but de mieux décrire les évolutions des principales variables zootechniques au cours du cycle de lactation.

— Le fichier I réunit des données récentes (1982-1986) de production et de poids vif issues de la Station de Recherches de Rennes (TROCCON, résultats non publiés). Il a permis de mettre en évidence l'effet du niveau de production selon l'âge des animaux pour des lactations d'une durée d'au moins 200 jours.

— Le fichier II permet d'étudier spécifiquement le début de la lactation (8 premières semaines) en intégrant l'évolution des quantités d'aliments ingérées (fourrages offerts à volonté) ainsi que les bilans énergétiques et les variations de poids vif selon le niveau de production et le type de fourrage distribué. Les données obtenues sur l'ensilage de maïs ont pu être valorisées jusqu'en 12e semaine de la lactation afin de mieux préciser l'évolution de la capacité d'ingestion.

— L'étude des quantités ingérées sur un cycle complet de lactation se heurte souvent à l'utilisation du pâturage pendant 6 mois de l'année. Un essai réalisé en 1986 (fichier III) avec une ration d'ensilage de maïs d'excellente qualité (35 p. 100 MS, 50 p. 100 grains) distribuée ad libitum pendant toute la lactation a permis, avec un nombre réduit d'animaux (n = 33) mais d'un potentiel de production élevé, de préciser l'évolution de la capacité d'ingestion entre le vêlage et le tarissement (VERITE, résultats non publiés).

— Le fichier IV a été élaboré en vue de prédire les quantités ingérées individuelles de vaches en pleine lactation à partir de quatre types de régimes différents.

TABLEAU 1

Caractéristiques des fichiers utilisés pour l'étude des paramètres zootechniques

	Etude du stade de lactation						Etude inter-individus milieu de lactation	
	Fichier I		Fichier II		Fichier III		Fichier IV	
	Primipares	Multipares	Primipares	Multipares	Primipares	Multipares	Primipares	Multipares
Effectif (n)	188	324	160	496	14	19	321	716
Caractéristiques								
Production initiale (kg/j)	16,9 ±3,9	26,6 ±6,1	15,9 ±5,4	22,9 ±5,4	19,2 ±4,3	28,5 ±4,6	16,1 ±4,1	23,1 ±5,5
Production maximale (kg/j)	25,5 ±6,1	35,2 ±6,1	23,2 ±5,7	30,0 ±6,5	28,3 ±2,6	38,4 ±2,4	23,8 ±5,1	30,4 ±6,3
Production totale 300j (kg)(4)	5715 ±1132	6661 ±1240	5092 ±1545	5688 ±1444	6788 ±520	8080 ±650	5199 ±1289	5730 ±1389
Poids vif (kg) (2)	556 ±63	632 ±63	541 ±58	598 ±62	577 ±46	656 ±49	547 ±55	594 ±61
Types de fourrage (n)	Ensilage maïs (512)		Ensilage de maïs (392) Ensilage d'herbe (99) Foin de montagne (78) Foin + Ens. herbe (87)		Ensilage maïs (33)		Ensilage de maïs (456) Ensilage d'herbe (314) Foin de montagne (175) Foin + Ens.herbe (92)	
Stade de lactation (semaine)	1 à 44 (1)		1 à 8 1 à 12 Ensilage de maïs		1 à 40		14,5 ± 2,7	
Variables analysées (3)								
Production	oui		oui		oui		oui	
Composition du lait	oui		oui		oui		oui	
Poids vif	oui		oui		oui		oui	
Quantités ingérées	non		oui		oui		oui	
Bilan énergétique	non		oui		oui		oui	
Lieu d'expérience INRA	Rennes		Rennes Theix Orcival Marcenat Lusignan		Rennes		Rennes Theix Orcival Marcenat Lusignan	
Génotypes	Pie noire		Pie noire (90 %) Montbéliarde (10 %)		Pie noire		Pie noire (90 %) Montbéliarde (10 %)	

(1) Effectif non constant après la 28ème semaine de lactation
(2) Fichier IV : poids vif moyen en milieu de lactation
Fichiers I, II, III : poids vif moyen de la première semaine de lactation
(3) Production = lait brut, lait 4 % : 4 à 7 jours de contrôle par semaine
Composition du lait = taux butyreux et protéique : 2 à 3 jours de contrôle par semaine
Quantités ingérées = fourrages, aliments concentrés, ration totale : 2 à 5 jours de contrôle par semaine
Poids vif = poids vif et variations : 2 à 4 pesées mensuelles
(4) Estimation à partir de la production laitière en 252 j pour le fichier I.

La collecte des données de quantités ingérées issues d'expériences différentes (fichiers II et IV), a été opérée en ne retenant que celles obéissant à un minimum de contraintes communes de façon à constituer des fichiers de données homogènes. Parmi celles-ci, on peut citer :

— distribution individuelle des fourrages offerts à volonté,
— connaissance des valeurs nutritives des constituants de la ration,
— apport d'azote fermentescible non limitant,
— absence de stress risquant de perturber l'ingestion,
— élimination des animaux ayant eu des ennuis sanitaires graves et durables,
— pour l'étude inter-individuelle (fichier IV) en pleine lactation, les animaux devaient avoir un stade de lactation moyen compris entre le 3e et le 5e mois de lactation, avec une durée minimale de 6 semaines de mesures.

L'analyse des données concernant les primipares et les multipares a été réalisée séparément. Le rapport entre ces 2 classes d'animaux n'étant pas constant d'un essai à l'autre, certains ne comprenant pas de vaches primipares, les vaches en première lactation ne sont pas de ce fait rigoureusement comparables aux vaches multipares.

Les données du fichier IV ont été exploitées par analyse de covariance (programme SYSNOVA, SEEBECK, 1973) afin de déterminer les relations entre les quantités ingérées et les caractéristiques des animaux (production laitière et poids vif) pour différents types de fourrages. L'analyse des données d'évolution, au cours des premiers mois de lactation, a été faite par analyse de variance à 2 voies (potentiel de production, nature du régime), de façon à ce que les moyennes de quantités ingérées pour les différents régimes soient ajustées à un même niveau de production (programme ANVARM, AMANCE, BACHACOU *et al.*, 1981).

II. Variations au cours du cycle de la lactation

1. Productions, besoins et troubles sanitaires

1.1. Début de la lactation

— Durant la phase croissante de la lactation, les quantités de lait augmentent d'autant plus que le niveau de production est élevé (tableau 2 — figures 1 et 2). Ainsi, l'accroissement entre les productions initiale (PI = moyenne des 4-5-6e jours) et maximale hebdomadaire (PM) varie d'environ 6 kg de lait pour les vaches faibles productrices (PM de 20 kg chez les primipares et de 25 kg chez les multipares) à plus de 10 kg de lait pour les fortes productrices (PM = 30 kg chez les primipares, 45 kg chez les multipares). Ces augmentations de production sont supérieures à celles observées dans les études précédentes (JOURNET et JARRIGE, 1960 ; SPIKE et FREEMAN, 1967 ; DECAEN *et al.*, 1970 ; HODEN, 1978) en raison de l'augmentation du potentiel laitier des animaux et des meilleures conditions générales d'alimentation, en particulier azotée, à cette période.

La PM est atteinte un peu avant la fin du premier mois (3e-4e semaines) chez les faibles productrices et légèrement après (4e-5e semaines) chez les fortes ; elle est par ailleurs inférieure d'environ 1,2 kg de lait à la production maximum mobile observée sur 3 jours consécutifs (PM 3 jours). Quel que soit le niveau de production, les exportations de protéines et de matières grasses par la mamelle sont par contre maximales dès les premières semaines de la lactation (figure 2).

Le début de la lactation est une période très sensible du point de vue sanitaire : près de la moitié des troubles totaux observés sur la lactation ont en effet lieu au cours du premier mois de lactation (DOHOO *et al.*, 1984 ; FAYE et FAYET, 1985 ; EDE Bretagne Pays de Loire, 1985). Il s'agit principalement d'affections liées au vêlage (non délivrance, métrites) ou à la mamelle (mammites) mais aussi parfois aux déséquilibres nutritionnels (cétoses). Ces troubles ont un effet dépressif sur les quantités ingérées et la production laitière d'autant plus important et d'une durée d'autant plus longue qu'ils ont lieu plus près du vêlage (MARQUIS et HODEN, 1977 ; COULON *et al.*, 1984b). Les mammites, qui représentent le trouble le plus fréquent, entraînent des pertes de lait produit qui varient de quelques kg à plus de 500 kg selon le stade de lactation et la gravité de l'affection (MARQUIS et HODEN, 1977 ; LUCEY et ROWLANDS, 1984 ; COULON *et al.*, résultats non publiés).

TABLEAU 2

Paramètres de début de la lactation et production totale de lait (1)

Numéro lactation	Productions kg lait initiale PI	Productions kg lait maximum PM	PM - PI kg lait	Estimation Production totale 300 j kg lait
Primipares	13,5	20	6,5	4400
	17,0	25	8,0	5600
	20,0	30	10,0	6800
Multipares	19,0	25	6,0	4800
	23,0	30	7,0	5700
	26,5	35	8,5	6600
	30,0	40	10,0	7600
	33,5	45	11,5	8500

(1) Estimation à partir des données des fichiers I et II :

Primipares

PM = - 1,4 + 1,57 PI ETR = 3,5 R^2 = 0,62

P totale = - 501 + 244 PM ETR = 543 R^2 = 0,88

Multipares

PM = - 1,4 + 1,38 PI ETR = 4,1 R^2 = 0,60

P totale = 87 + 187 PM ETR = 772 R^2 = 0,72

1.2. Milieu de la lactation

— Au cours de la phase décroissante de la lactation, les persistances de la production laitière (entre les semaines 10 et 40) sont plus faibles chez les multipares (89,2 p. 100 par mois) que chez les primipares (93,8 p. 100) et diminuent d'environ 2 points lorsque le maximum de production s'accroît de 10 kg de lait chez les vaches adultes (figure 1). Les quantités de lait produites en 300 jours de lactation sont en relation étroite avec la PM (tableau 1) et leur rapport est de l'ordre de 220 chez les primipares et de 190 chez les multipares.

Pour étudier l'effet spécifique de l'âge sur la production laitière, une sélection d'animaux ayant effectué plusieurs lactations consécutives de plus de 200 jours a été réalisée à partir du fichier I. Entre la 1ere et la 2e lactation (n = 154), l'accroissement de la quantité de lait produite en 320 jours est de 16 p. 100 (+ 1000 kg de lait) quel que soit l'âge au vêlage (inférieur ou supérieur à 900 j). Entre la 2e et la 3e lactation (n = 88) cette augmentation n'est que de 5 p. 100. Ces coefficients sont plus faibles que ceux habituellement retenus (25 à 30 p. 100) mais correspondent aux observations actuelles (COLLEAU et MULLER, résultats non publiés ; contrôle laitier, 1986). Ils sont vraisemblablement à relier à la meilleure conduite générale des génisses depuis leur naissance (mode d'élevage, alimentation...) en liaison avec l'amélioration de leur potentiel laitier (précocité), et à une élimination plus systématique et précoce des primipares à faibles niveaux de production.

Durant pratiquement toute la lactation (figure 1), les taux butyreux et protéique sont inférieurs chez les vaches ayant les potentiels de production les plus élevés (fichier I). Les écarts entre les taux des vaches faibles et fortes productrices sont de 4,0 et 4,2 g p. 1000 pour le taux butyreux et de 3,0 et 3,8 g p. 1000 pour le taux protéique chez les primipares et les multipares, respectivement.

2. Quantités ingérées

2.1. Premier tiers de la lactation

Les quantités ingérées sont les plus faibles au vêlage et s'accroissent de façon curvilinéaire pour atteindre un plateau situé aux environs du 3e mois de la lactation (fig. 2). Les quantités de MS totale ingérées en 1ere semaine ne représentent que 60 à 80 p. 100 du maximum observé en pleine lactation (paragraphe III) mais environ 95 p. 100 dès la 6e semaine après le vêlage (tableau 3). Ces accroissements dépendent de nombreux facteurs, principalement du niveau de production, du numéro de lactation, de la qualité de la ration de base et de l'état de santé de l'animal (COULON *et al.*, 1984a et b).

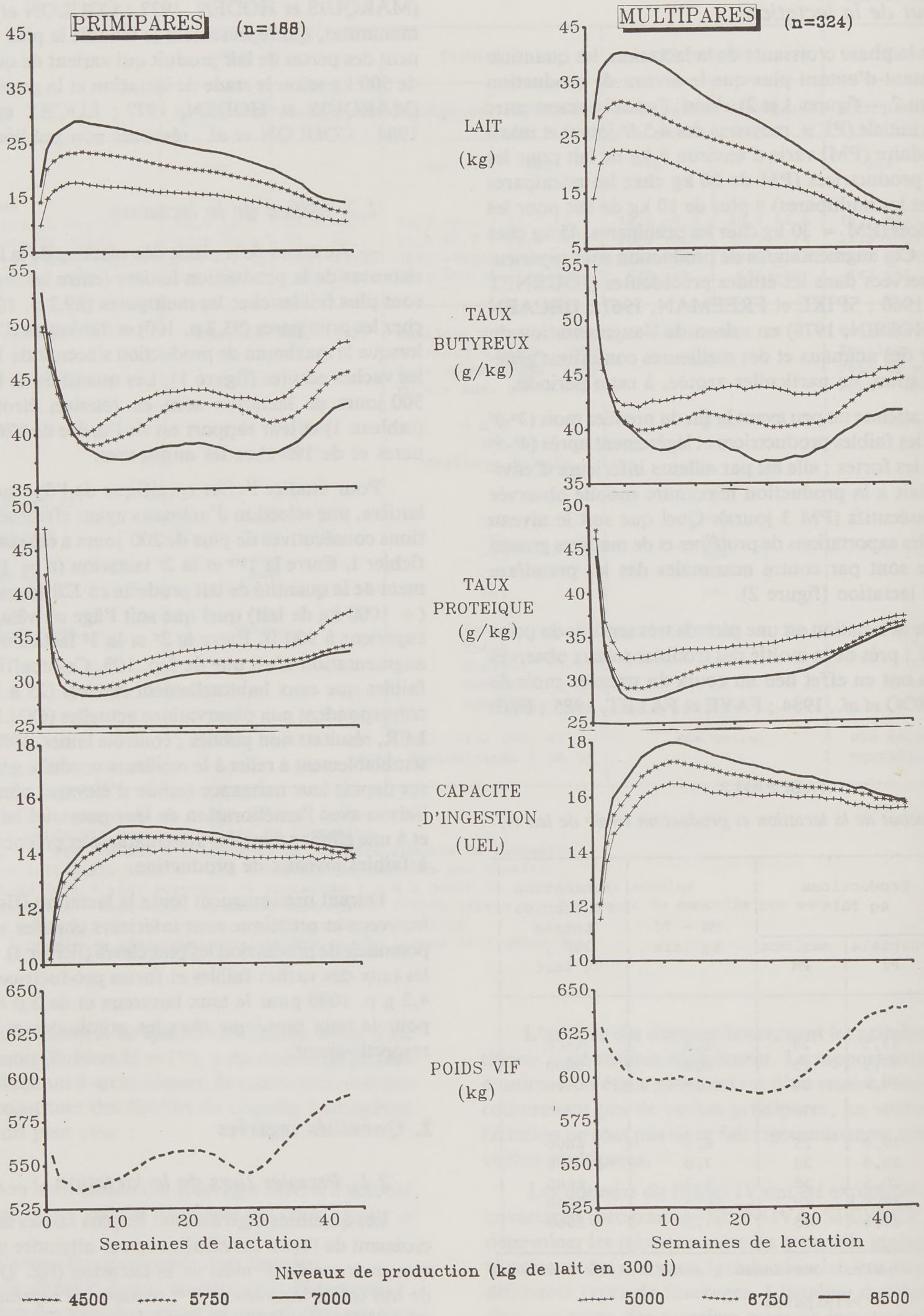


FIG. 1 : *Evolution de la production et de la composition du lait, de la capacité d'ingestion et du poids vif des vaches laitières au cours de la lactation (Fichier I - courbes lissées) - Résultats INRA, Rennes - J.L. TROCCON, non publiés.*

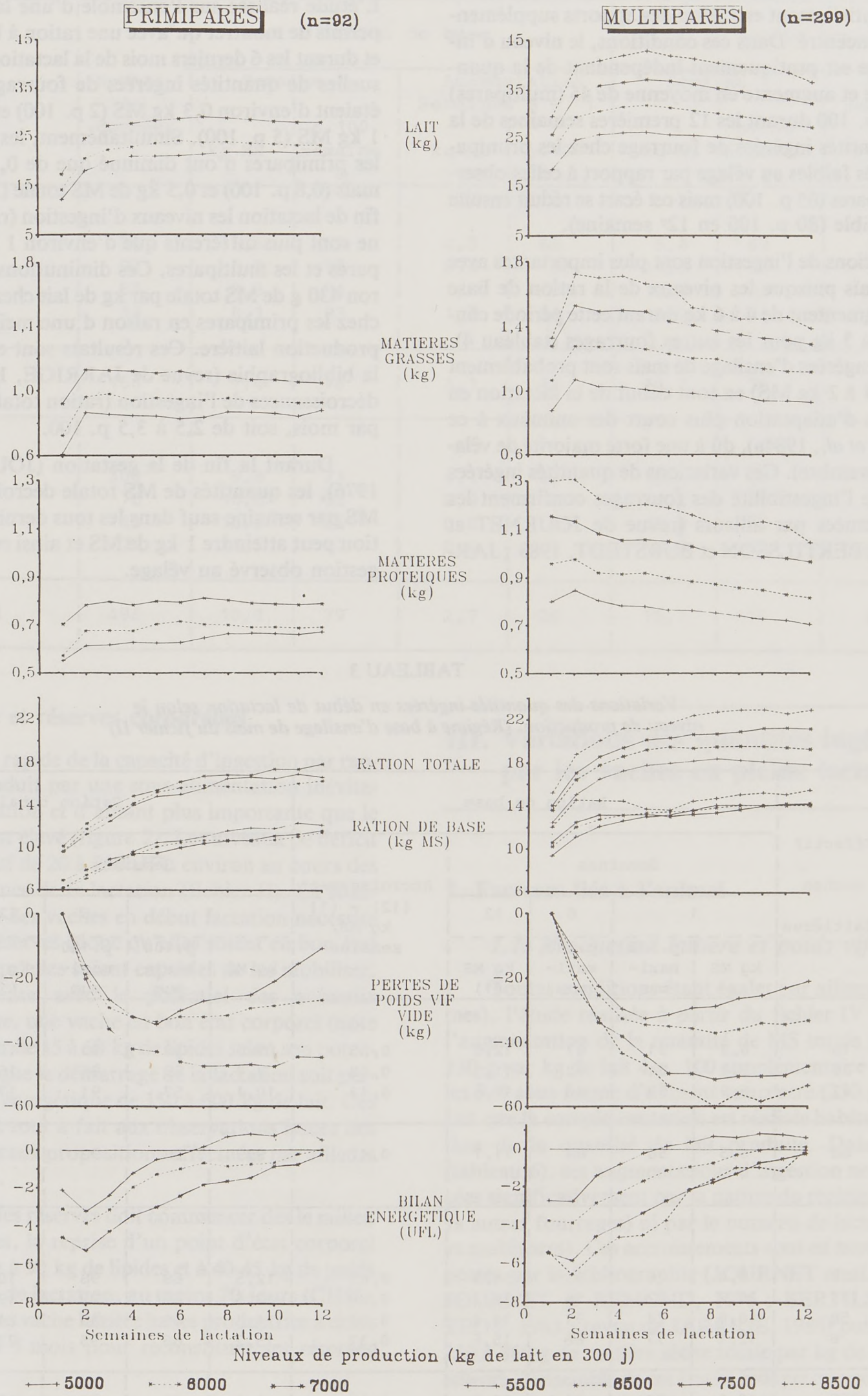


FIG. 2 : *Evolution de quelques paramètres de production, d'ingestion et de bilan énergétique des vaches laitières en début de lactation (Fichier II) - Résultats non publiés.*

En moyenne, avec les rations à base d'ensilage de maïs, les quantités de MS totale augmentent de 600 à 650 g par semaine au cours des 12 premières semaines de la lactation dont les deux tiers environ sont dûs aux fourrages (tableau 3). Ces accroissements sont d'autant plus importants que le niveau de production est élevé, essentiellement en raison des apports supplémentaires d'aliment concentré. Dans ces conditions, le niveau d'ingestion de fourrage est pratiquement indépendant de la quantité de lait produite et augmente en moyenne de 45 (multipares) à 80 (primipares) p. 100 durant les 12 premières semaines de la lactation. Les quantités ingérées de fourrage chez les primipares sont en effet très faibles au vêlage par rapport à celles observées chez les multipares (65 p. 100) mais cet écart se réduit ensuite de façon très sensible (80 p. 100 en 12e semaine).

Les augmentations de l'ingestion sont plus importantes avec les ensilages de maïs puisque les niveaux de la ration de base et de MS totale augmentent de 4 à 6 kg durant cette période contre seulement 0,5 à 3 kg pour les autres fourrages (tableau 4). Mais les quantités ingérées d'ensilage de maïs sont probablement sous-estimées (de 1 à 2 kg MS) en tout début de la lactation en raison d'un temps d'adaptation plus court des animaux à ce régime (COULON *et al.*, 1984a), dû à une forte majorité de vêlages d'automne (novembre). Ces variations de quantités ingérées sous l'influence de l'ingestibilité des fourrages confirment les observations effectuées par ailleurs (revue de JOURNET et REMOND, 1976 ; BERTILSSON et BURSTEDT, 1983 ; JARRIGE, 1986).

2.2. Deux derniers tiers de la lactation

Passé le plateau maximum d'ingestion (3e - 4e mois), les quantités ingérées diminuent régulièrement avec la production laitière et le niveau des apports d'aliment concentré (figure 1). L'étude réalisée sur l'ensemble d'une lactation (fichier III), a permis de montrer qu'avec une ration à base d'ensilage de maïs et durant les 6 derniers mois de la lactation, les diminutions mensuelles de quantités ingérées de fourrages chez les multipares étaient d'environ 0,3 kg MS (2 p. 100) et celles de MS totale de 1 kg MS (5 p. 100). Simultanément, les quantités ingérées par les primipares n'ont diminué que de 0,1 kg MS d'ensilage de maïs (0,8 p. 100) et 0,5 kg de MS totale (3 p. 100) de sorte qu'en fin de lactation les niveaux d'ingestion (rations de base et totale) ne sont plus différents que d'environ 1 kg MS entre les primipares et les multipares. Ces diminutions correspondent à environ 430 g de MS totale par kg de lait chez les multipares et 460 g chez les primipares en raison d'une meilleure persistance de la production laitière. Ces résultats sont en accord avec ceux de la bibliographie (revue de JARRIGE, 1986) qui indiquent des décroissances de l'ingestion (ration totale) de 0,5 à 0,65 kg MS par mois, soit de 2,5 à 3,5 p. 100.

Durant la fin de la gestation (JOURNET et REMOND, 1976), les quantités de MS totale décroissent d'environ 0,2 kg MS par semaine sauf dans les tous derniers jours où la diminution peut atteindre 1 kg de MS et ainsi rejoindre le niveau d'ingestion observé au vêlage.

TABLEAU 3

Variations des quantités ingérées en début de lactation selon le niveau de production. (Régime à base d'ensilage de maïs du fichier II)

Production maximum (P.M) kg lait	Effectif vaches laitières	Ration de base					Ration totale				
		Semaines				Accroissement (12) - (1) kg MS/ semaine	Semaines				Accroissement (12) - (1) kg MS/ semaine
		1		6	12		1		6	12	
		kg MS	p.100 maximum	p.100 maximum	kg MS (1)		kg MS	p.100 maximum	p.100 maximum	kg MS (1)	
Primipares											
21,7	16	6,2	51	87	12,2	0,55	9,6	58	90	16,7	0,64
24,1	30	6,2	54	92	11,5	0,48	9,7	59	96	16,3	0,61
28,9	42	6,9	59	86	11,6	0,43	10,1	57	91	17,9	0,70
Moyenne ou total	88	6,5	56	88	11,7	0,47	9,9	58	92	17,1	0,65
Multipares											
26,1	120	9,4	66	93	14,3	0,45	12,5	68	98	18,5	0,55
31,8	113	10,2	72	96	14,2	0,36	13,6	69	99	19,7	0,55
37,1	58	10,6	74	91	14,4	0,34	14,1	66	95	21,4	0,67
43,0	8	12,1	77	88	15,6	0,32	15,2	66	95	23,1	0,72
Moyenne ou total	299	10,0	70	93	14,3	0,39	13,3	68	98	19,6	0,57

(1) Valeur maximum (100).

TABLEAU 4

Variations des quantités ingérées en début de lactation selon le type de régime utilisé. (Moyennes ajustées issues des niveaux de production du fichier II)

Régimes	Nombre de données	Ration de base				Ration totale			
		Semaine 1		Augmentation Semaines 8 - 1		Semaine 1		Augmentation Semaines 8 - 1	
		kg MS	p.100 semaine 8	kg MS	p.100	kg MS	p.100 semaine 8	kg MS	p.100
Primipares									
Ensilage maïs	92	6,6	59	4,5	68	9,8	62	5,9	60
Ensilage herbe	23	8,2	95	0,4	5	11,5	85	2,1	18
Foin	35	8,8	84	1,7	19	12,6	81	3,0	24
Mixte	10	8,1	83	1,7	21	11,2	79	3,0	27
Moyenne ou total	160	7,4	70	3,1	42	10,7	70	4,6	43
Multipares									
Ensilage maïs	300	9,8	71	4,1	42	13,0	70	5,6	43
Ensilage herbe	76	10,6	92	0,9	8	14,2	84	2,7	19
Foin	43	12,3	94	0,8	7	15,8	85	2,8	18
Mixte	77	11,5	97	0,4	3	15,0	92	2,3	15
Moyenne ou total	496	10,4	79	2,7	26	13,7	76	4,4	32

3. Bilan énergétique et réserves corporelles

L'évolution moins rapide de la capacité d'ingestion par rapport aux besoins se traduit par une sous-alimentation inévitable en début de la lactation et d'autant plus importante que le niveau de production est élevé (figure 2). Les niveaux de déficit énergétique varient ainsi de 20 à 250 UFL environ au cours des 4 à 10 premières semaines de la lactation (fichier II). La sous-alimentation inévitable des vaches en début lactation nécessite qu'elles disposent de réserves (donc qu'elles soient en bon état corporel au vêlage) et qu'elles soient capables de les mobiliser. Cette capacité augmente avec le potentiel des animaux (tableau 5). En pratique, une vache en bon état corporel (note de 3,5 à 4) peut mobiliser de 15 à 60 kg de lipides selon son potentiel de production sans que le démarrage de la lactation soit perturbé, soit l'équivalent énergétique de 150 à 600 kg de lait. Ces résultats correspondent tout à fait aux observations issues des données du fichier II et aux propositions effectuées par ailleurs (HODEN *et al.*, 1988).

La reconstitution des réserves doit commencer dès le milieu de la lactation. En effet, la reprise d'un point d'état corporel (qui correspond environ à 30 kg de lipides et à 40-45 kg de poids vif) nécessite, en milieu de lactation, au moins 70 jours (CHILLIARD *et al.*, 1983). Une vache laitière haute productrice a donc besoin d'au moins 4 à 5 mois pour reconstituer ses réserves corporelles.

La capacité de mobilisation des réserves protéiques est beaucoup plus réduite. Chez des vaches en bon état corporel et d'un potentiel de production élevé, elle ne peut pas dépasser 5 à 10 kg sans conséquences sur la production laitière (JOURNET *et al.*, 1983 ; VERITE et GEAY, 1987 ; VERITE et PEYRAUD, 1988), soit l'équivalent protéique de 105 à 210 kg de lait (tableau 5).

III. Variations des quantités ingérées par les vaches en pleine lactation

1. Facteurs liés à l'animal

1.1. Production laitière et poids vif

Toutes conditions étant égales par ailleurs (poids vif, régimes), l'étude réalisée à partir du fichier IV permet d'estimer l'augmentation de la quantité de MS totale ingérée à environ 330 g par kg de lait 4 p. 100 supplémentaire (tableau 6), pour les 3/4 sous forme d'aliment concentré (250 g). Ceci est dû au fait que la complémentation est réalisée habituellement en fonction de la quantité de lait produite. Dans nos conditions (tableau 6), ces augmentations d'ingestion ne sont pas influencées significativement par la nature du régime (ensilage de maïs vs autres fourrages) ni par le numéro de lactation (primipares vs multipares). Ces accroissements sont en accord avec ceux rapportés par la bibliographie (JOURNET *et al.*, 1965 ; revue de JOURNET et REMOND, 1976 ; BERTILSSON et BURSTEDT, 1983 ; revue de JARRIGE, 1986) puisqu'ils varient de 250 à 360 g de matière sèche totale par kg de lait 4 p. 100. Par ailleurs, l'ensemble de ces études indique que pour un même troupeau de vaches en pleine lactation, les quantités ingérées de fourrages offerts ad libitum peuvent être considérées comme étant voisines, quel que soit le niveau de production, après avoir tenu compte des différences de poids vif et de numéro de lactation. Dans le cas d'une forte réduction de l'apport d'aliment concentré par rapport aux besoins, les quantités ingérées de fourrages

TABLEAU 5

Réserves corporelles totales (composition corporelle) disponibles (maximum mobilisable) et mobilisables sans conséquences sur la production laitière en fonction du potentiel de production et de l'état corporel des vaches Pie-Noires. (d'après JOURNET et al., 1983 ; CHILLIARD et al., 1983 ; CHILLIARD, 1987 ; REMOND et al., 1988 et non publié)

Potentiel de production (kg/j)	Etat corporel au vêlage (note)	Réserves (kg) (a)				Mobilisables sans conséquences sur la production laitière		Production laitière (kg) permise par (b)	
		Totales		Disponibles					
		Lipides	Protéines	Lipides	Protéines	Lipides	Protéines	Energie	Protéines
20 - 25	Bon (3,5 - 4,0)	135	85	100	15	15-20	0 - 5	150-200	0 - 105
	Médiocre (1,0-1,5)	45	80	15	10	5-10	0 - 5	50-100	0 - 105
35 - 40	Bon (3,5 - 4,0)	135	85	100	15	40-50	5 - 10	400-500	105 - 210
	Médiocre (1,0-1,5)	45	80	15	10	5-10	5	50-100	105

(a) *Pour des vaches multipares pesant 650 (bon état) ou 550 (état médiocre) kg au vêlage.*

(b) *En admettant que l'énergie mobilisée est utilisée avec un rendement de 0,8, et que les protéines mobilisées sont utilisées avec la même efficacité que les PDI.*

peuvent augmenter de 200 à 300 g de MS par kg lait 4 p. 100 mais à condition de disposer de fourrages d'excellente qualité (revue de JOURNET et REMOND, 1976 ; BERTILSSON et BURSTEDT, 1983).

Les augmentations des quantités ingérées de fourrages et de la ration totale ont varié de 0,8 à 1,2 kg MS par fraction de 100 kg de poids vif selon l'âge des animaux (tableau 6). Ces coefficients sont en accord avec ceux rapportés par les auteurs précédents (1,0 à 1,5 kg MS selon les études) et dépendent de la qualité du fourrage utilisé et du plan de complémentation pratiqué. Ainsi, avec des rations de forte ingestibilité (excellents ensilages de maïs) et des distributions peu libérales d'aliment concentré, les accroissements peuvent atteindre jusqu'à 2 kg de MS par 100 kg de poids vif (VERITE, 1972 ; VERITE et JOURNET, 1973).

1.2. Numéro de lactation

D'après les données du fichier IV, les vaches primipares (tous âges au vêlage confondus) ingèrent en moyenne 1,9 kg MS de fourrages en moins que les multipares (tableau 6) pour des apports d'aliments concentrés identiques (4,3 kg MS). Les différences de production laitière (2,7 kg lait) et de poids vif (47 kg) expliquent un écart d'ingestion d'environ 1,4 kg MS entre les deux catégories d'animaux. L'estimation de l'effet intrinsèque du rang de lactation à 0,5 kg de MS totale ainsi que les différences d'ingestion observées entre multipares et primipares (au sein d'un même troupeau), sont en accord avec les résultats rapportés par d'autres auteurs (JOURNET *et al.*, 1965 ; revue de JARRIGE, 1986). Par ailleurs, à caractéristiques identiques (poids vif et lait produit), les vaches primipares vêlant à «2 ans» (moins de 30 mois) n'ont pas une capacité d'ingestion plus faible que celles vêlant à «3 ans» (plus de 30 mois). Mais, par rapport à l'étude de TROCCON *et al.*, (1979), ces animaux en vêlage précoce étaient plus âgés (2 mois) et surtout plus lourds (520 kg contre seulement 460 kg).

Ces différences expliquent qu'il est nécessaire de modifier le rationnement en aliment concentré des primipares par rapport à celui des multipares comme cela a été proposé (HODEN *et al.*, 1988).

2. Effets des régimes - Ingestibilité

A même capacité d'ingestion des vaches laitières (fichier IV), les différences de quantités ingérées de fourrages entre les 6 classes de régimes présentées au tableau 6 sont de 2,3 kg MS chez les primipares et de 3,3 kg chez les multipares. Mais les comparaisons strictes sont difficiles à réaliser dans ce cadre en raison des apports différents d'aliments concentrés selon les types de fourrages (3,0 kg MS entre les extrêmes). Les ensilages de maïs, et surtout ceux issus des plantes à plus faible teneur en lignine (gène brown-midrib - BARRIERE *et al.*, 1985), apparaissent comme étant les fourrages les plus ingestibles tandis que les rations à base d'ensilage d'herbe (avec ou sans foin) de qualité moyenne, s'ingèrent en quantités plus réduites. A l'inverse, les foins de montagne apparaissent fortement ingestibles (2,2 kg MS p. 100 kg de poids vif) compte tenu de l'apport plus important d'aliment concentré réalisé avec ce régime (5,5 kg MS contre 4,3 kg MS en moyenne). Ce plus faible encombrement des foins est confirmé par d'autres essais (VINET *et al.*, 1980 ; STEACY *et al.*, 1983 ; BERTILSSON et BURSTEDT, 1983). Ces derniers auteurs ont ainsi obtenu des niveaux d'ingestion moyens (3 années) de foins de 2,37 kg MS p. 100 kg de poids vif avec un apport de 5,5 kg MS d'aliment concentré (production de 24,2 kg de lait 4 p. 100). Mais ces données (tableau 6) correspondent à des moyennes par type de fourrage ramené à un même niveau de production théorique et non à l'utilisation de fourrages extrêmes dans leurs conditions d'utilisation. Dans ce cas, les différences d'ingestion sont beaucoup plus importantes (6 à 8 kg MS - HODEN *et al.*, 1988) et sont à relier aux valeurs d'encombrement (UEL) présentées dans les tables.

TABLEAU 6

Variations des quantités ingérées en pleine lactation (4e mois) selon les types de régimes et l'âge des animaux (Moyennes ajustées issues des niveaux de production et du poids vif du fichier IV)

Régimes - kg MS	Ration de fourrages		Ration totale	
	Primipares	Multipares	Primipares	Multipares
Moyenne générale (1)	11,5	13,4	15,8	17,7
Ensilage de maïs				
. normal	11,7	13,9	15,8	18,1
. Brown midrib	12,9	15,5	15,5	18,1
Ensilage d'herbe				
. bonne qualité	11,0	13,2	15,4	17,5
. qualité moyenne	10,6	12,2	15,4	16,8
Foin de montagne	11,6	13,4	17,1	19,0
Foin + ensilage d'herbe	11,0	12,5	15,5	16,9
Augmentation par				
. kg lait 4 p.100	0,068	0,099	0,319	0,340
. 100 kg poids vif	1,2	0,8	1,1	1,1
Ecart-type résiduel	1,5	1,8	1,2	1,4

(1) Vaches d'un niveau de production de 20,2 (Primipares) et 22,9 (multipares) kg lait 4 p.100 pesant 547 et 594 respectivement (fichier IV).

IV. Mise en œuvre du rationnement

1. Principes généraux

1.1. Besoins en énergie

Les bases des calculs des besoins énergétiques sont présentées par VERMOREL *et al.*, (1987) dans ce même numéro. Au delà de 400 kg de poids vif, le besoin d'entretien d'une vache en stabulation entravée peut être calculé à partir du poids vif (PV en kg) par la relation suivante : Besoin d'entretien (UFL) = 1,4 + 0,006 PV. Celui-ci serait supérieur de 10 p. 100 pour les animaux en stabulation libre et d'au moins 20 p. 100 au pâturage. Le besoin de production est égal à la quantité d'énergie nette contenue dans le lait : il est de 0,44 UFL par kg de lait à 4 p. 100 de matières grasses qui contient 730 kcal.

Ces besoins (tableau 7) impliquent que les vaches soient à poids vif constant. Le coût énergétique du gain de poids vif ou la valeur énergétique de la perte de poids vif sont variables du fait des différences de composition corporelle entre le gain ou la perte. Ces variations sont difficiles à établir en raison de l'influence du poids des contenus digestifs qui masquent les différences réelles de la masse corporelle (CHILLIARD *et al.*, 1987). D'après ces auteurs il semble cependant possible de retenir la valeur moyenne de 4,5 UFL/kg de gain de poids vif vide et de 3,5 UFL/kg de perte de poids vif vide.

Les besoins de gestation ne sont importants qu'au cours des 3 derniers mois. Ils sont fonction de la taille du fœtus et sont respectivement de 0,9 - 1,6 et 2,6 UFL au cours des 7e, 8e et 9e mois de gestation pour un veau de 40 kg de poids vif à la naissance.

TABLEAU 7

Apports alimentaires recommandés et capacité d'ingestion des vaches laitières multipares (vache de 600 kg)

Vache de 600 kg				UFL	PDI g	Ca g	P g	Quantités ingérées kg MS(1)	Capacité d'ingestion UEL
VACHE TARIE GESTANTE :									
— avant le 7e mois de gestation				5,0	395	36	27	(11	(11,5
— 7e mois de gestation				5,9	470	45	30	à	à
— 8e mois de gestation				6,6	530	52	32		
— 9e mois de gestation				7,6	600	61	35	15)	15,5)
VACHE EN PRODUCTION : taux butyreux en g p. 1000									
32	36	40	44						
3,0	2,5	2,5	2,5	6,1	515	47	30	(11	(11,5
5,5	5,5	5,0	4,5	7,2	635	57	35	à	à
8,5	8,0	7,5	7,0	8,3	755	67	40	15)	15,5)
11,5	10,5	10,0	9,5	9,4	875	78	45	13,4	15,3
14,0	13,5	12,5	12,0	10,5	995	89	50	14,2	15,6
17,0	16,0	15,0	14,0	11,6	1 115	100	54	15,1	15,9
20,0	18,5	17,5	16,5	12,7	1 235	108	58	15,9	16,2
22,5	21,5	20,0	19,0	13,8	1 355	115	62	16,7	16,5
25,5	24,0	22,5	21,0	14,9	1 475	123	66	17,6	16,7
28,5	26,5	25,0	23,5	16,0	1 595	130	71	18,4	17,0
31,5	29,5	27,5	26,0	17,1	1 715	135	73	19,2	17,2
34,0	32,0	30,0	28,5	18,2	1 835	140	75	20,1	17,5
37,0	34,5	32,5	30,5	19,3	1 955	145	77	20,9	17,7
40,0	37,0	35,0	33,0	20,4	2 075	150	80	21,7	17,9
42,5	40,0	37,5	35,5	21,5	2 195	155	82	22,5	18,1
45,5	42,5	40,0	37,5	22,6	2 315	160	85	23,4	18,3
48,0	45,5	42,5	40,0	23,7	2 435	165	88	—	18,5
51,0	48,0	45,0	42,5	24,8	2 555	170	91	—	18,7
kg de lait									
Corrections pour une variation de poids vif de 100 kg				0,6	50	6	5	0,8 à 1,5	1

(1) Valeurs calculées pour une ration à base d'ensilage de maïs de bonne qualité.

Corrections de la valeur énergétique des rations

La valeur énergétique des aliments est déterminée dans la situation particulière où l'aliment est distribué seul ou presque et à un niveau alimentaire moyen de 1,7 : c'est une valeur potentielle. L'apport énergétique réel de la ration est souvent inférieur à la somme des valeurs des aliments en raison de la diminution de la digestibilité de la ration que provoquent les accroissements de la proportion de concentré et du niveau d'alimentation (apports UFL/besoins entretien UFL). Cette réduction n'est pas complètement compensée par la diminution de la perte de méthane et l'amélioration de l'utilisation métabolique. Ces effets peuvent être importants chez les vaches laitières fortes productrices dont le niveau d'alimentation peut atteindre ou dépasser 4 (35 kg de lait) et qui reçoivent une proportion élevée d'aliments concentrés. Ces effets (E) peuvent être correctement estimés (VERMOREL *et al.*, 1987), quel que soit le type de ration de base, par la relation suivante qui intègre l'effet du niveau des apports UFL (A) et celui des interactions digestives liées à la proportion de concentré dans la ration (C, variable de 0 à 0,5) :

$$E \text{ (en UFL)} = 6{,}3.\ C^2 + 0{,}002.\ A^2 - 0{,}017.\ A$$

Ces effets dont les valeurs sont précisées au tableau 8 pour différents niveaux de production et valeurs de fourrage ont été pris en compte dans le rationnement en aliment concentré à la couverture des besoins (tableau 11). Pour éviter tout calcul itératif faisant intervenir la proportion de concentré, les interactions énergétiques ont été ajustées à l'aide d'une équation faisant intervenir les caractéristiques de l'animal et de la ration et exprimée sous forme d'un coefficient multiplicatif (appelé également E) représentant la correction de valeur énergétique de la ration (tableau 14).

TABLEAU 8

Valeur de l'interaction (E, en UFL) à la couverture stricte des besoins énergétiques pour différents niveaux de production et différentes valeurs énergétiques d'un fourrage à 1,1, UEL (complémenté avec un concentré à 1,05 UFL/kg MS)

Niveau de production (kg lait 4 %/j)	Valeur UFL du fourrage		
	0,9	0,8	0,7
	E	E	E
15	0,1	0,1	0,2
20	0,2	0,4	0,7
25	0,6	0,9	1,2
30	1,1	1,4	
35	1,7	1,9	

Notion de rendement marginal

Les apports d'énergie autour de la couverture stricte des besoins d'une vache de potentiel donné, ne se traduisent pas par une réponse de 2,3 kg lait 4 p. 100 par UFL. En fait, l'évolution de la production laitière en fonction des apports énergétiques n'est pas linéaire et suit la loi des rendements décroissants (FLATT *et al.*, 1972 ; WIKTORSSON, 1979 ; BROSTER et THOMAS, 1981) (figure 4). Lorsque l'on se situe en dessous de la couverture stricte des besoins, une partie de l'énergie utilisée pour la production laitière provient des réserves corporelles ; inversement, au-dessus de leur satisfaction une partie de plus en plus importante de l'énergie disponible est fixée dans l'organisme. Pour préciser la variation de ce rendement marginal aux alentours des besoins, une compilation bibliographique a été réalisée à partir de 60 lots expérimentaux issus de 20 essais à court (5 semaines en milieu de lactation — 4 essais), moyen (10 à 24 semaines de lactation - 13 essais) ou long terme (lactations complètes - 3 essais) où 3 niveaux d'apports énergétiques étaient comparés. Dans ces essais, (17 à 26 kg lait/jour), le niveau moyen pouvait être considéré comme proche des besoins, l'écart entre chaque niveau énergétique était de l'ordre de 2 UFL et n'a pas été corrigé pour tenir compte des effets d'interactions définis précédemment. Dans ces conditions, la différence de production laitière (DL en kg/j) en fonction d'une variation des apports énergétiques (VUF) autour des besoins peut être estimée par la relation suivante (figure 4) :

$$DL = -5{,}07 + 3{,}15.\ \text{Ln}\ (VUF + 5) \qquad R = 0{,}88$$

à partir de laquelle on peut calculer le rendement marginal apparent à différents niveaux par rapport aux besoins : celui-ci varie ainsi de 0,5 à 1,1 kg lait/UFL supplémentaire selon que l'on se situe à + 2 ou — 2 UFL de part et d'autre de ceux-ci (figure 4).

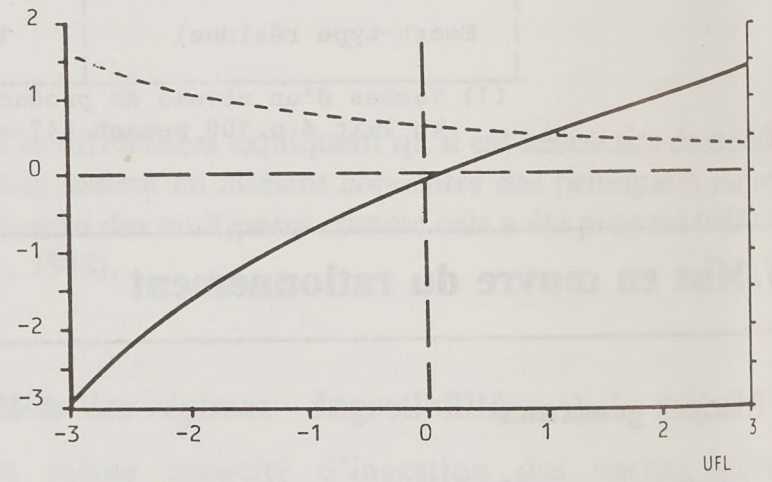


FIG. 4 : *Evolution de la production laitière (kg de lait 4 p. 100 —) et du rendement marginal (kg de lait 4 p. 100/UFL .....), autour des besoins, pour une vache à 25 kg de lait.*

Dans les essais sur des lactations complètes où l'on dispose de variations de poids vif (MATHER *et al.*, 1959 ; WIKTORSSON 1971 et 1979), une variation des apports énergétiques de 2,5 UFL en plus ou en moins par rapport aux besoins a entraîné une variation de poids de respectivement + 60 et — 100 g/j.

Ce rendement marginal est d'autre part plus faible en milieu de lactation qu'en début (BROSTER *et al.*, 1985) et dépend aussi de la durée de la sous-(sur-) alimentation, du potentiel de production des animaux et de leur état corporel : d'une manière générale les vaches fortes productrices répondent plus fortement aux variations d'apports énergétiques, en particulier lorsque l'on se situe au-dessus des besoins (WIKTORSSON, 1979 ; BROSTER et BROSTER, 1984 ; BROSTER *et al.*, 1985). Dans l'essai à long terme de WIKTORSSON (1979), le rendement marginal pour un accroissement de 20 p. 100 des apports énergétiques au dessus des besoins a été de 0,5 kg de lait 4 p. 100 pour des vaches d'un potentiel de 5000 kg de lait et de 0,9 kg de lait 4 p. 100 pour celles d'un potentiel de 8000 kg. Cependant il n'en a pas toujours été ainsi (WIKTORSSON, 1971 ; JOHNSON,

1979 ; GORDON, 1984), peut-être en partie parce que chez certains de ces derniers auteurs le rendement marginal est exprimé en kg de lait/kg de concentré supplémentaire et non en kg de lait/UFL supplémentaire : les phénomènes de substitution variables selon le niveau de production pouvant expliquer l'apparente contradiction entre ces résultats (BROSTER et THOMAS, 1981). Enfin, en cas de sous-alimentation de courte durée, il peut arriver que les vaches fortes productrices diminuent moins leur production que les faibles productrices parce qu'elles ont une plus grande capacité à mobiliser leurs réserves corporelles.

Le tableau 9 précise les variations de réponse de production laitière lorsque l'on modifie les apports d'aliments concentrés (± 3 kg MS) aux alentours de la couverture stricte des besoins. Les phénomènes de substitution avec les fourrages offerts à volonté ont été intégrés selon les lois de variations présentées dans le cadre du système des UE (DULPHY *et al.*, 1987 dans ce numéro). Deux situations pratiques ont été envisagées en associant des fourrages de valeur nutritives différentes (0,90 et 0,75 UFL/kg MS) à un type d'aliment concentré donné (1,0 et 1,1 UFL/kg MS). D'une manière générale, l'apport supplémentaire d'aliment concentré est d'autant plus efficace que l'écart des valeurs énergétiques entre le fourrage et l'aliment complémentaire est plus important.

1.2. Besoins en azote

Les besoins ont été estimés selon les bases présentées dans ce même numéro par VERITE *et al.*, (1987). Le besoin d'entretien est fonction du poids vif de l'animal et peut s'exprimer par la relation suivante :

$$PDI(g) = 95 + 0{,}5.\ P \text{ (en kg poids vif)}$$

Le besoin de production a été déterminé à partir d'essais d'alimentation et correspond à 48 g par kg de lait à 4 p. 100 de matières grasses (tableau 7).

Les apports PDI peuvent parfois s'écarter de la couverture stricte des besoins. Ceci est en particulier les cas des vaches au début de la lactation où l'on assiste à une mobilisation inévitable des protéines corporelles mais qu'il sera nécessaire de reconstituer ultérieurement (paragraphe II.3).

Par ailleurs, grâce au phénomène de recyclage de l'urée endogène, il est possible de tolérer un déficit d'apport PDIN relativement à l'apport PDIE, en particulier lorsque ce dernier permet de satisfaire largement les besoins PDI de l'animal. Ainsi, les apports de PDIN doivent au moins correspondre à ceux en PDIE dans le cas des vaches laitières en tout début de lactation pour éviter toute diminution de la valeur alimentaire de la ration qui entraîne à ce stade une baisse importante de production. Ils peuvent être déficitaires (PDIE-PDIN) de 4 à 8 g/UFL selon que les apports de PDIE sont satisfaisants ou largement excédentaires, ce qui est généralement le cas en pleine lactation.

Enfin, en cas de variation des apports azotés aux alentours des recommandations, la réponse de la production laitière suit la loi des rendements décroissants. Cette réponse marginale pour un supplément de 100 g de PDI varie ainsi en moyenne de 0,9 kg à 0,2 kg de lait 4 p. 100 selon que les apports de PDI se situent à — 200 g ou + 200 g de part et d'autre des recommandations.

TABLEAU 9

Influence d'une variation des apports d'aliment concentré par rapport à la couverture des besoins sur les variations d'apports énergétiques et de production laitière

Variation de l'apport d'aliment concentré (kg MS)	Taux de substitution marginal (3)	Variation des quantités ingérées de fourrages (kg MS)	Variations par rapport à la couverture des besoins			
			Situation (1)		Situation (2)	
			Energie UFL	Lait kg 4 %	Energie UFL	Lait kg 4 %
+ 3	0,64	- 1,9	+ 1,3	+ 0,7	+ 1,9	+ 1,0
+ 2	0,61	- 1,2	+ 0,9	+ 0,5	+ 1,3	+ 0,7
+ 1	0,58	- 0,6	+ 0,5	+ 0,3	+ 0,7	+ 0,4
- 1	0,52	+ 0,5	- 0,6	- 0,4	- 0,7	- 0,5
- 2	0,49	+ 1,0	- 1,1	- 0,8	- 1,5	- 1,1
- 3	0,47	+ 1,4	- 1,7	- 1,4	- 2,3	- 1,9

(1) Fourrage à 0,90 UFL/kg MS et aliment concentré à 1 UFL/kg MS.
(2) Fourrage à 0,75 UFL/kg MS et aliment concentré à 1,1 UFL/kg MS.
(3) Selon les lois de variation du système UE (DULPHY et al., 1988).

1.3. Capacité d'ingestion

— Les variations *interindividuelles* de la capacité d'ingestion (UEL) ont été précisées à partir des données du fichier IV se rapportant aux vaches en pleine lactation alimentées à partir des rations à base d'ensilage de maïs. Les caractéristiques de ces aliments, utilisés dans le cadre des essais comportant une complémentation normale, étaient en effet bien connues (teneur en MS, proportion de grains) et permettaient de déterminer avec fiabilité leur valeur d'encombrement. Connaissant cette dernière, il a été possible d'ajuster par itération, à partir du système des UE (DULPHY *et al.*, 1987), la capacité d'ingestion aux quantités de MS totales ingérées en fonction du niveau de production des primipares et des multipares. Par ailleurs, l'effet du format des animaux a été estimé à 1 UEL par 100 kg de poids vif de variation aux alentours de 600 kg. Dans ces conditions, l'ajustement de la capacité d'ingestion (CI en UEL) aux quantités de MS totale a permis d'établir la relation suivante pour les vaches multipares en fonction de leur production laitière (PL en kg lait 4 p. 100) et de leur poids vif (PV en kg) :

$$CI = 22 - 8{,}25.\ EXP\ (-\ 0{,}02.\ PL) + (PV - 600).\ 0{,}01$$

Cette relation a été ensuite vérifiée individuellement sur tous les régimes du fichier IV en comparant la consommation de matière sèche totale prédite à celle observée. L'écart type de cette différence sur 700 données individuelles a été de 1,0 kg de MS.

Par ailleurs, la comparaison des données montre que la capacité d'ingestion des vaches primipares en pleine lactation est égale à environ 90 p. 100 de celle des multipares soit 14,9 UEL pour une production de 25 kg de lait et un poids vif de 550 kg (figure 3a).

A la différence de l'augmentation linéaire des quantités de matière sèche totale ingérées observée entre 15 et 35 kg de lait (fichier IV), l'accroissement de la capacité d'ingestion par kg de lait 4 p. 100 se réduit au fur et à mesure que le niveau de production s'élève. Par kg de lait 4 p. 100 il est ainsi de 0,13 UEL pour une vache faible productrice (10 kg lait) mais n'est plus que de 0,10 UEL pour la vache produisant environ 25 kg lait et de seulement 0,07 UEL pour des animaux forts producteurs. Ceci est dû au fait que la valeur d'encombrement d'un kg de concentré (taux de substitution global (Sg) × UEL fourrage) diminue avec le niveau de production de lait lorsque les besoins sont couverts. En effet, la modélisation des phénomènes de substitution (DULPHY *et al.*, 1987) conduit à une diminution de Sg lorsque la production laitière augmente (tableau 14, figure 5).

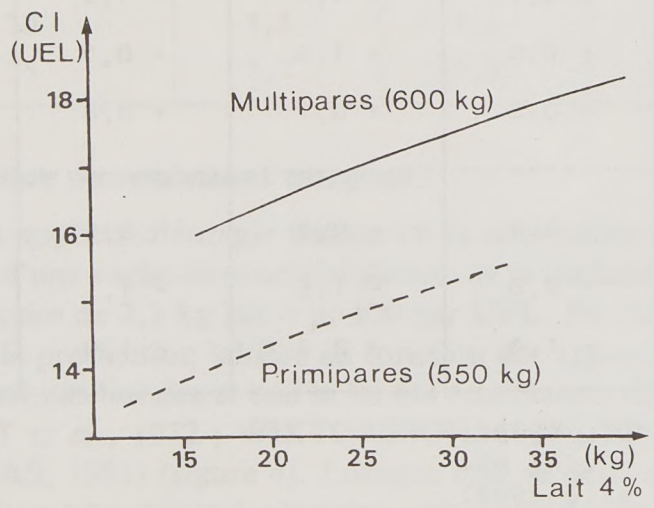


FIG. 3a : *Capacité d'ingestion (CI) des vaches laitières de potentiels différents (Fichier IV, ensilage de maïs).*

Les différents coefficients obtenus à partir des données de ce fichier IV ont été utilisés pour déterminer les niveaux moyens d'ingestion (kg MST) et les capacités d'ingestion correspondantes (UEL) des vaches laitières selon leur niveau de production (tableau 7).

— Les variations *intra-individuelles* de la capacité d'ingestion ont été estimées à partir des données du fichier III. Le système des UE a été appliqué aux résultats expérimentaux de production laitière (kg lait 4 p. 100) et de poids vif (kg) des 28 dernières semaines de la lactation (12 à 40) comme s'il s'agissait de données interindividuelles. Les résultats de capacité d'ingestion obtenus (figure 3b) montrent qu'il est possible d'utiliser une seule et même formule de prévision des quantités ingérées en fonction de la production laitière et du poids vif, entre animaux (potentiels différents) ou entre différentes périodes de la lactation (3e au 10e mois). Une telle formule est aussi applicable pour les vaches taries qui ont une capacité d'ingestion (600 kg de poids vif) d'environ 13,5 UEL, d'après les quelques résultats expérimentaux à notre disposition (DULPHY, COULON, VERITE, résultats non publiés).

A titre d'illustration, la figure 1 présente les variations de la capacité d'ingestion des vaches laitières multipares et primipares du fichier I selon leur niveau de production au cours de la lactation (44 semaines).

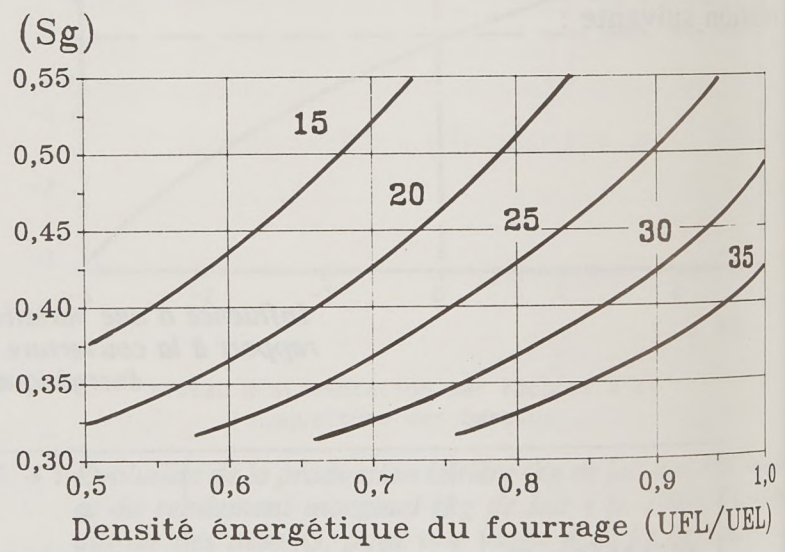


FIG. 5 : *Abaque du taux de substitution global en fonction de la production laitière (kg de lait 4 p. 100) et de la densité énergétique du fourrage.*

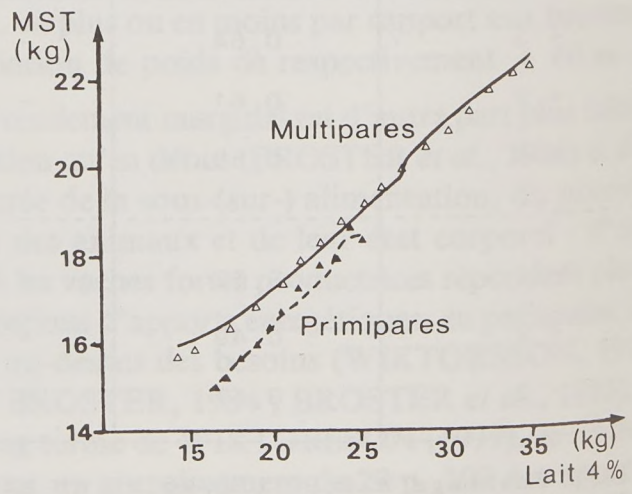


FIG. 3b : *Quantités de matière sèche totale ingérées (MST) observées (Δ, ▲) et prédites (——, — — —) en fonction de la production de lait 4 p. 100 au cours de la lactation (semaines 10 à 40, fichier III).*

2. Méthodes de calcul et conditions d'utilisation

Le rationnement a pour objectif de déterminer, pour un troupeau ou un groupe d'animaux plus homogène, les quantités ingérées de fourrages (offerts généralement à volonté) et les apports d'aliments concentrés à réaliser en vue de couvrir, à un degré plus ou moins satisfaisant, les besoins des vaches. Différentes méthodes de rationnement existent actuellement entre le système classique «semi-collectif» (même ration de base à tous les animaux + complémentation individuelle) et celui tout à fait individualisé (fourrages + aliments concentrés) en fonction de la production laitière de chaque vache. Ainsi, la technique des «rations complètes» comportant plusieurs lots de niveaux de production, est une solution intermédiaire qui tend à se développer (cf V.2). Par ailleurs, les utilisateurs peuvent choisir d'alimenter leurs vaches à la couverture stricte des besoins (cf. IV 1.1) ou à un niveau d'alimentation différent pour diverses raisons.

L'application du système des UE présenté dans ce même numéro (DULPHY *et al.*, 1987) permet de mieux résoudre qu'auparavant l'ensemble des situations rencontrées. Par ailleurs, en tenant compte des phénomènes de substitution et des rendements marginaux, il devient possible d'estimer les variations de production laitière entraînées par les modifications des apports d'aliments concentrés par rapport à la couverture stricte des besoins énergétiques des animaux.

La présentation des différentes méthodes d'application du système des UE tient compte des techniques de rationnement utilisées, de la précision recherchée et des moyens de calculs disponibles (tableau 10). On se limitera au cas des vaches multipares en pleine lactation (3e - 10e mois) recevant des fourrages à volonté, compte tenu des propositions faites par ailleurs (HODEN *et al.*, 1988) pour les vaches primipares et celles en début de lactation. On se situera dans un premier temps au niveau de la couverture stricte des besoins énergétiques des animaux avant d'examiner les répercussions des modifications de la complémentation par rapport à leur satisfaction. Dans tous les cas, on supposera que la ration de base est apportée à volonté et que les caractéristiques (valeurs nutritive et encombrement) des différents aliments utilisés (fourrages + concentrés) sont bien connues. La complémentation en autres éléments (azote, minéraux, vitamines) sera supposée effectuée de façon rationnelle, permettant de ce fait d'obtenir la meilleure valorisation énergétique possible de la ration (digestibilité × quantités ingérées).

TABLEAU 14

Taux de substitution global (Sg) du fourrage à l'aliment concentré à la couverture des besoins

Densité énergétique du fourrage (UFL/UEL)	LAIT 4 % (kg)				
	15	20	25	30	35
0,50	0,37	-	-	-	-
0,55	0,40	0,34	-	-	-
0,60	0,43	0,36	0,32	-	-
0,65	0,47	0,39	0,34	-	-
0,70	0,51	0,42	0,36	0,32	-
0,75	-	0,46	0,39	0,34	-
0,80	-	0,51	0,43	0,36	0,33
0,85	-	-	0,46	0,39	0,35
0,90	-	-	0,50	0,42	0,37
0,95	-	-	0,54	0,45	0,39
1,00	-	-	-	0,49	0,42

2.1. Rationnement selon la couverture des besoins

— **La méthode 1,** de type simplifié ou global, permet de déterminer, de façon rapide, le niveau d'ingestion (kg MS) d'une ration de base de caractéristiques données (UFL, UEL/kg MS) et la quantité de lait permise (kg de lait 4 p. 100), quel que soit le niveau de production individuel. Les apports d'aliments concentrés à effectuer (kg MS), peuvent être déterminés soit par l'application de la méthode des «rythmes» de distribution (1 kg MS/2 kg lait pour un aliment à 1,05 UFL/kg MS) au dessus de la production laitière permise par la ration de base soit par la lecture directe du tableau 11. Cette méthode correspond à celle proposée précédemment (JARRIGE *et al.*, 1979) et à l'utilisation directe des tableaux et abaques fournis par ailleurs (HODEN *et al.*, 1988).

— **La méthode 2** permet d'effectuer une approche individuelle de la consommation de fourrages. Il est alors possible d'utiliser directement les tableaux 11 et 12 pour les différents niveaux de production présentés (15-20-25-30-35 kg lait 4 p. 100) afin de connaître le niveau d'ingestion de la ration de base et la quantité de concentré à apporter. Mais ces deux premières méthodes nécessitent dans la plupart des cas d'effectuer des interpolations pouvant atteindre jusqu'à 8 colonnes (ex. : 23 kg lait, concentré = 1,02 UFL, fourrage = 1,12 UEL et 0,84 UFL), ce qui ne facilite pas l'obtention des résultats.

— **La méthode 3** a pour but de résoudre le système d'équations basées l'une sur la capacité d'ingestion (UEL) et l'autre sur les besoins énergétiques pour chacun des niveaux de production ou de poids vif souhaités :

(1) $x.\,UEF + y.\,Sg.UEF$ = capacité d'ingestion (UEL)
(2) $(x.UFF + y.UFC).E$ = besoins (UFL)

où x représente la quantité de MS de fourrage et y celle d'aliment concentré, UEF et UFF les valeurs d'encombrement (UEL) et énergétique (UFL) du fourrage et UFC la valeur énergétique (UFL) du concentré. La valeur d'encombrement de l'aliment concentré est en effet directement fonction de celle du fourrage et du taux de substitution global (Sg) observé à la production considérée (JARRIGE *et al.*, 1979 ; DULPHY *et al.*, 1987). L'équation (1) peut être aisément simplifiée en divisant chacun des termes par la valeur UEL du fourrage ce qui permet de raisonner directement en kg MS :

$$(1)\quad x + y.Sg = CI/UEF$$

Les coefficients E (tableau 13) représentent les corrections de la valeur énergétique de la ration dues aux effets dépressifs de l'utilisation de l'énergie (VERMOREL *et al.*, 1987 ; JOURNET, 1988). Les valeurs de Sg sont fournies de façon simplifiée par le tableau 14 et la figure 5 en fonction de la densité énergétique du fourrage (DEF = UFF/UEF). Les résultats de ces équations (kg MS de fourrages et d'aliments concentrés) correspondent à ceux déjà présentés (tableaux 11 et 12) ; ils ont été bornés à un maximum de 10 kg MS d'aliment concentré correspondant à la limite de fiabilité de l'application du système des UEL.

Il est possible d'éviter totalement l'utilisation des tableaux 11 à 14 en calculant de façon approchée les différents coefficients (Sg et E) par les relations présentées au tableau 10. Les résultats peuvent ensuite être obtenus en résolvant le système suivant :

TABLEAU 10

Possibilités d'application du système des UE au rationnement

CARACTERISTIQUES DE LA RATION ET DE L'ANIMAL				EXEMPLES
RATION	FOURRAGE	Valeur énergétique UFL/kg MS	= UFF	0,80
		Valeur encombrement UEL/kg MS	= UEF	1,10
		Densité énergétique UFL/UEL	= DEF	0,73
		Quantité - kg MS	= x	-
	CONCENTRE	Valeur énergétique UFL/kg MS	= UFC	1,05
		Taux substitution global	= Sg	-
		Valeur encombrement Sg x UEF	= UEC	-
		Quantité - kg MS	= y	-
	ENERGIE	Coefficient d'interaction énergétique entre fourrage et concentré	= E	-
ANIMAL		Production lait 4 p.100 - PL	= kg 4 p.100	25
		Poids vif - PV	= kg	600
		Capacité d'ingestion - CI	= UEL	17,0
		Besoins énergétiques - BES	= UFL	16,0

OBJECTIFS DU RATIONNEMENT

A/ Détermination de l'apport d'aliment concentré à des vaches laitières multipares en pleine lactation alimentées selon leurs besoins et recevant une ration de fourrage offert à volonté.

* Méthodes

1) Estimation globale du niveau de la ration de base et complémentation individuelle
- Prédiction simplifiée de la ration de base pour le troupeau ou un lot d'animaux :
  - quantités ingérées - kg MS
  - production laitière permise - kg PL

  cf "L'alimentation des bovins, ovins et caprins" (1988) : tabl. 8.4 ou fig. 8.2

  → x = 13,1 ; PL permise = 12,5
- Complémentation individuelle selon le niveau de production :
  - application du rythme moyen de 1 kg MS/2 kg

  → y = (25-12,5)/2 = 6,2

2) Lecture directe des tableaux 11 et 12

→ x = 13, 1 ; y = 6,1

- possibilité d'obtenir des consommations individuelles de fourrage selon le niveau de production (tableau 12)

PL	x	y
20	13,6	3,2
25	13,1	6,1
30	12,9	9,0

mais nécessité d'interpolation entre plusieurs colonnes dans certains cas.

3) Calcul de x et y par résolution des équations pour tous niveaux de production :

(1) encombrement $X.UEF + y.Sg.UEF = CI$
$X + y.Sg = CI/UEF$
(2) énergie $(X.UFF + y.UFC).E = BES$

→ avec Sg = 0,38 (tab 13) ; E = 0,94 (tab 14) ; x = 13,1 ; y = 6,1

Possibilité de calculer les différents paramètres par relations :

$CI = 22 - 8,25.\exp(-0,02.PL) + (PV - 600).0,01$ → CI = 17,0
$BES = 1,4 + 0,006.PV + 0,44.PL$ → BES = 16,0
$Sg = 1,2.PL^{(-0,69)}.\exp(1,46.DEF)$ → Sg = 0,38
$E = 1,045 + 0,2.UFF - 0,22.UEF + 0,104.UFC - 0,0051.PL$ → E = 0,94

$y = (BES/E - CI.DEF)/(UFC - Sg.UFF)$ → y = 6,1
$x = CI/UEF - y.Sg$ → x = 13,1

4) - Utilisation du logiciel INRA de rationnement. Ce dernier utilise l'algorithme complet de résolution du système d'équations par itérations successives.

B/ Estimation des variations d'apports énergétiques et de production laitière sous l'influence des modifications d'apports d'aliments concentrés par rapport à la couverture des besoins (tabl. 9)

- Application des lois de variation du taux de substitution et des rendements marginaux → Si y = 4,1 (- 2) ; x = 14,1 (+ 1) ; Variations UFL = -1,3 ; PL = -1,0

- Possibilité de réalisation avec des moyens de calcul plus ou moins performants dans les méthodes 2, 3 (en 2 étapes avec calculette ou calculette programmable) et 4 (directe).

$y = (BES/E - CI.DEF)/(UFC - Sg.UFF)$
$x = CI/UEF - y.Sg$

— **La méthode 4** est en fait la plus performante puisqu'elle permet à partir du logiciel INRA de rationnement d'intégrer l'ensemble des phénomènes.

2.2. *Variations des apports nutritifs par rapport aux besoins — Conséquences*

Pour différentes raisons technico-économiques, les utilisateurs peuvent être amenés à modifier les quantités d'aliment concentré par rapport à celles déterminées précédemment. Une réduction de celles-ci aura pour effet de diminuer les apports énergétiques et la production laitière dans les proportions indiquées au tableau 9. Un exemple d'une telle modification est présenté au tableau 10.

Par ailleurs, la vache laitière assure inévitablement une partie de sa production, au début de la lactation, en mobilisant des réserves qu'elle devra impérativement reconstituer avant le vêlage suivant. L'évolution du bilan énergétique de la figure 2 illustre bien ce phénomène et montre que la sous-alimentation en fin du 2e mois après le vêlage est encore de l'ordre de 1 à 2 UFL/j chez les vaches produisant 30 à 40 kg de lait.

Ces déficits, surtout s'ils sont plus importants et se prolongent au-delà du 3e mois de la lactation, sont souvent à l'origine de difficultés de reproduction et d'une faible persistance de la production laitière. Avec des réductions de 2 à 3 kg d'aliment concentré par rapport aux quantités indiquées au tableau 11 pour des productions moyennes de 25 kg de lait, il faut s'attendre à des diminutions de 1 à 2 kg de lait par jour (tableau 9). Dans ces conditions, les retards de fécondation risquent de pénaliser fortement la conduite du troupeau (étalement des vêlages) ainsi que les résultats technico-économiques, et il devient de plus en plus difficile de reconstituer les réserves de l'animal.

Les vaches adultes doivent pourtant impérativement retrouver leur poids vif d'avant vêlage et il est nécessaire que les primipares assurent en plus durant leur lactation, une croissance correspondant à 60 (vêlage «à 2 ans») ou 30 kg (vêlage «à 3 ans») (TROCCON, 1987). Cette reconstitution durant la 2e moitié de la lactation nécessite d'effectuer des apports d'énergie supérieurs aux besoins stricts d'entretien et de production. Ainsi, le bilan énergétique des vaches multipares de l'essai du fichier III, a été en moyenne positif de 1 UFL durant les 26 dernières semaines de la lactation pour une reprise d'environ 40 kg de poids vif apparent (VERITE, résultats non publiés). La reconstitution des réserves s'effectue généralement de façon satisfaisante sur des pâturages bien conduits dans le cas des vêlages d'automne. Mais dans d'autres situations (vêlages de printemps, rations moins ingestibles...), celle-ci risque d'être plus difficile.

V. Simplification du rationnement

La connaissance précise des besoins des vaches laitières en fonction de leurs caractéristiques individuelles d'âge, de stade physiologique, de production laitière, de format... permet de réaliser un rationnement en aliment concentré variable d'un animal à l'autre et en fonction du temps. Mais avec l'augmentation du potentiel de production nécessitant d'apporter des quantités importantes d'aliments concentrés à certaines périodes ainsi que la recherche d'une réduction de la main d'œuvre et d'une simplification du travail, on s'est demandé s'il était toujours nécessaire de faire varier de façon importante les apports d'aliments concentrés en fonction du stade de lactation et du niveau de production des vaches (OSTERGAARD *et al.*, 1987). La moins bonne efficacité d'utilisation de la ration et les risques sanitaires ont aussi conduit à réduire la proportion d'aliments concentrés (ou à la plafonner) ou à changer le mode de distribution : fractionnement des apports ou mélange des fourrages et des aliments complémentaires.

Deux voies principales de simplification ont ainsi été abordées concernant 1) les stratégies d'apport de l'aliment concentré 2) le mélange de l'ensemble des aliments en une ration unique (ration complète).

1. Stratégie d'apport du concentré

Dans la majorité des essais où différents systèmes de distribution d'une même quantité de concentré ont été comparés (tableau 15), les systèmes simplifiés (distribution d'une quantité uniforme de concentré au cours de la période hivernale à tous les animaux) ont conduit à des courbes de la production laitière plus «plates» (pic de production moins élevé mais persistance supérieure) mais à des performances moyennes voisines de celles permises par les systèmes de référence (variations des apports de concentré en fonction du stade de lactation et du niveau de production), quel que soit le niveau d'apport du concentré (STEEN et GORDON, 1980 ; MOISEY et LEAVER, 1985).

TABLEAU 15

Influence de la répartition du concentré au cours de la lactation sur la production laitière :
C : répartition classique (suivant le stade de lactation)
S : répartition simplifiée (apport uniforme au cours de la période expérimentale pour tous les animaux)

Références	Durée (semaines)	Type de rationnement	Aliment concentré (kg MS/j)	Lait (kg/j)
RAKES et DAVENPORT, 1971	1 - 50	C S	8,1 8,5	19,8 18,7
OSTERGAARD, 1979	1 - 36	C S	6,0 6,0	19,5 19,9
MOISEY et LEAVER, 1980	3 - 22	C S	7,7 7,7	26,7 27,5
TAYLOR et LEAVER, 1980	1 - 20	C S	7,7 7,7	26,7 26,2
HODEN et JOURNET, non publié	4 - 16	C S	3,2 3,6	20,9 20,8
JOHNSON, 1977	2 - 20	C S	5,8 5,8	20,8 20,3
GORDON, 1982	1 - 26	C S	5,8 5,9	17,9 18,2
STEEN et GORDON, 1980	1 - 11	C S	4,9 5,0	22,7 22,7

Rations distribuées à volonté, à base d'ensilage d'herbe sauf RAKES et DAVENPORT (ensilage d'herbe + ensilage de maïs) et JOHNSON (foin).

Ces résultats ont été permis par 1) l'utilisation de rations de base de qualité (ensilage d'herbe récolté à un stade précoce, apport de betteraves et de mélasse, ration mixte ensilage d'herbe — ensilage de maïs), distribuées à volonté, permettant aux phénomènes de substitution de jouer fortement, 2) une meilleure efficacité d'utilisation des rations, liée au fait qu'aucune vache ne recevait une proportion très élevée d'aliment concentré qui est à l'origine des effets dépressifs sur la digestion des fourrages, 3) la capacité qu'avaient les animaux de bon format à mobiliser leurs réserves corporelles : les systèmes de distribution uniforme du concentré conduisent en effet à des pertes de poids vif plus importantes en début de lactation (RAKES et DAVENPORT, 1971 ; OSTERGAARD, 1979).

Lorsque ces conditions ne sont pas réunies, en particulier lorsque l'on distribue à des vaches fortes productrices une ration de base de qualité moyenne, un apport uniforme de concentré au cours des 4 premiers mois de lactation peut entraîner une diminution importante de la production laitière en début de lactation qui n'est pas complètement compensée par la suite (COULON *et al.*, résultats non publiés).

2. Rations complètes

Les rations complètes peuvent être définies comme étant un mélange intime de l'ensemble des constituants (fourrage, concentrés, azote non protéique, minéraux, vitamines) nécessaires à la couverture des besoins d'un troupeau laitier. Cette forme de présentation ne permet pas de tri et constitue la seule nourriture apportée à volonté à un lot d'animaux ou au troupeau laitier. Il est aussi possible d'utiliser des solutions «mixtes» en associant une complémentation individualisée à la «ration complète». Ceci est tout à fait justifié pour les animaux les plus forts producteurs du troupeau (> 35 kg lait, vaches en début de la lactation) devant recevoir une supplémentation protéique de qualité.

La technique des «rations complètes» est largement utilisées en Grande Bretagne (MAFF, 1977, 1978, et 1983 ; BINES, 1980) et aux Etats-Unis (revue de COPPOCK, 1981) mais se développe actuellement en France (AUGEARD *et al.*, 1987). De l'ensemble des résultats bibliographiques (revue de HODEN et GIGER, 1984), il apparaît que les «rations complètes» permettent, par rapport à un apport «séparé» des fourrages et des aliments complémentaires : 1) un niveau d'ingestion plus élevé (1 kg MS environ), 2) des performances de production laitière et une composition du lait identiques mais avec un gain de poids vif plus élevé (100 g/j) et 3) un état sanitaire comparable.

Au niveau nutritionnel, les «rations complètes» présentent un intérêt dès que les quantités d'aliments concentrés dans la ration deviennent importantes (plus de 8 à 10 kg MS/j). Elles permettent une meilleure utilisation digestive due au mélange des fourrages et des aliments complémentaires tout en évitant de distribuer des proportions élevées d'aliments concentrés aux vaches les plus fortes productrices. Elles permettent aussi de maintenir une composition du lait normale sans chute du taux butyreux (JOURNET, 1988).

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous les collègues de l'INRA ; B. MARQUIS, R. VERITE, JL. TROCCON (Rennes) ; J.P. ANDRIEU, J.P. DULPHY (Orcival) ; A. OLLIER, B. REMOND (Theix) ; J.P. GAREL (Marcenat) : L. HUGUET (Lusignan) qui ont bien voulu nous fournir les données issues de leurs troupeaux expérimentaux pour constituer les fichiers de réactualisation des différentes études.

Références bibliographiques

AUGEARD Ph., BAZIN S., CHENAIS F., GIRARD P., WEISS Ph., 1987. Rations complètes ou distribution individuelle de concentré. Document ITEB 87043. 84 p.

BACHACOU J.P., MASSON C., MILLIER C., 1981. Manuel de la programmation statistique. Amance, Champenoux, CNRF, INRA, 517 p.

BARRIERE Y., GALLAIS A., HUGUET L., TRAINEAU R., 1985. Le maïs brown midrib plante entière. 1. Caractéristiques générales. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, **60**, 44.

BERTILSSON J., BURSTEDT E., 1983. Effets of conservation method and stage of maturity upon the feeding value of forages to dairy cows. Swedish J. Agric. Res. 13 : 189-200.

BINES J.A., 1980. Feeding strategies for dairy cows. Publiation ARC 11.

BROSTER, W.H. and BROSTER, V.J., 1984. Reviews of the progress of dairy science : long term effects of plane of nutrition on the performance of the dairy cow. J. Dairy Res., 51 : 149-196.

BROSTER, W.H. and THOMAS, C., 1981. The influence of level and pattern of concentrate input on milk output. In : W. Haresign (Editor) Recent Advances in Animal Nutrition. Butterworths, London, pp. 49-69.

BROSTER W.H., SUTTON J.D., BINES J.A., BROSTER Valerie J., SMITH T., SIVITER J.W., JOHNSON V.W., NAPPER D.I., SCHULLER E., 1985. The influence of plane of nutrition and diet composition on the performance of dairy cows. J. Agric. Sci., 104, 535-557.

CHILLIARD Y., REMOND B., SAUVANT D., VERMOREL M., 1983. Particularités du métabolisme énergétique. Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, **53**, 37-64.

CHILLIARD Y., 1987. Revue bibliographique : variations quantitatives et métabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au cours du cycle gestation-lactation. 2e partie : chez la brebis et la vache. Reprod. Nutr. Develop., 27, 327-398.

CONTROLE LAITIER., 1986. Résultats sur l'ensemble de la France. Document interne 30 p.

COPPOCK C.E., BATH D.L., HARRIS J.R., 1981. From feeding to feeding systems. J. Dairy Sci., **64**, 1230-1249.

CHILLIARD Y., REMOND B., AGABRIEL J., ROBELIN J., VERITE R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70.

COULON J.B., DOREAU M., REMOND B., JOURNET M., 1984. Capacité d'ingestion des vaches laitières en début de lactation 1. Evolution, liaison avec certains paramètres zootechniques et conséquences sur la production laitière. Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, 55, 33-42.

COULON J.B., DOREAU M., REMOND B., JOURNET M., 1984. Capacité d'ingestion des vaches laitières en début de lactation. 2) Les anomalies de l'ingestion : liaisons avec l'état sanitaire et quelques paramètres du métabolisme énergétique et de la digestion. Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, 55, 43-51.

DECAEN C., JOURNET M., POUTOUS M., 1970. Evolution de la production laitière de la vache au cours des deux premiers mois de la lactation. I. Description graphique de l'évolution journalière de la quantité de lait secrétée, du taux butyreux est de la qualité de matières grasses secrétée. Ann. Zootech. 19, 191-203.

DECAEN C., CALOMITI S., POUTOUS M., 1970. Evolution de la production laitière de la vache au cours de deux premiers mois de la lactation. II. Analyse de la variation de la quantité de lait. Ann. Zootech. 19, 205-221.

DOHOO I.R., MARTIN S.W., MEEK A.H., SANDALS W.C.D., 1983. Disease, production and culling in holstein-friesian cows. I. the data. Prev. vet. Med., 1, 321-334.

DULPHY J.P., FAVERDIN P., MICOL D., BOCQUIER F., 1987. Révision du système des unités d'encombrement. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70.

EDE Bretagne et Pays de Loire, 1985. Nous, les vaches taries, 65 p.

FAYE B., FAYET J.C., 1985. Enquête écopathologique continue. 4. Répartition temporelle des pathologies majeures en élevage bovin laitier. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 60, 59-82.

FLATT W.P., MOE P.W., MOORE L.A., BREIREM K., EKERN A., 1972. Energy Requirements in Lactation. In Handbuch der Tierenahrung. Ed LENKEIF W., et BREIREM K. Verlag Paul PAREY Hambourg et Berlin, p. 341-392.

GORDON F.J., 1982. The effect of pattern of concentrate allocation on milk production from autumn-calving heifers. Anim. Prod., 34, 55-61.

GORDON F.J., 1984. The effect of level of concentrate supplementation given with grass silage during the winter on the total lactation performance of autumn-calving dairy cows. J. Agric. Sci., 102 : 163-179.

HODEN A., 1978. Rationnement au début de la lactation ; in la Vache Laitière, p. 71-86 ; Ed INRA Publications. Route de St-Cyr, 78000 Versailles.

HODEN A., COULON J.B., FAVERDIN Ph., 1988. Alimentation des vaches laitières, chap. 8 ; in «L'alimentation des bovins, ovins et caprins». Ed. R. JARRIGE : INRA Publications, Route de St-Cyr, 78000 Versailles.

HODEN A., GIGER S., 1984. Les rations complètes pour vaches laitières. Revue bibliographique. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 57, 45-50.

INRA, 1978. Vaches laitières. Alimentation des ruminants, p. 345-346, INRA Publications, Route de St-Cyr, 78000 Versailles.

JARRIGE R., 1986. Voluntary intake in dairy cows and its prediction., International Dairy Federation. Bull. n° 196, 4-16.

JARRIGE R., 1987. Evolution de la production laitière bovine et des caractéristiques du lait dans les pays tempérés. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, (68), 47-61.

JARRIGE R., BERANGER C., DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., GEAY Y., HODEN A., JOURNET M., MALTERRE C., MICOL D., PETIT M. and ROBELIN J., 1979 - Le système des unités d'encombrement pour les bovins. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, (38), 57 p.

JOHNSON C.L., 1977. The effect of the plane and pattern of concentrate feeding on milk yield and composition in dairy cows. J. Agric. Sci., 88. 79-84.

JOHNSON C.L., 1979. The effect of level and frequency of concentrate feeding on the performance of dairy cows of different field potential. J. Agric. Sci., 92, 743-751.

JOURNET M., FAVERDIN Ph., REMOND B., VERITE R., 1983. Niveau et qualité des apports azotés en début de lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, (51), 7-17.

JOURNET M., JARRIGE R., 1960. Evolution de la sécrétion des matières grasses, des matières azotées et du lactose au cours du premier mois de lactation. Ann. Zootech. (9) 132-155.

JOURNET M., POUTOUS M., CALOMITI S., 1965. Appétit de la vache laitière. I. Variations individuelles des quantités ingérées. Ann. Zootech. (14) 5-37.

JOURNET M., REMOND B., 1976. Physiological factors affecting the voluntary intake of feed by cows : a review. Livestock Production Science, 3, 129-146.

JOURNET M., CHAMPREDON C., PION R., VERITE R., 1983a. Bases physiologiques de la nutrition azotée des vaches fortes productrices. Analyse critique des recommandations. IVth Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition, Clermont-Ferrand. Ed. INRA Publ., I, 433-448.

JOURNET M., 1988. Optimisation des rations, chap. 7 ; in «L'alimentation des bovins, ovins et caprins». Ed. R. JARRIGE ; INRA Publications. Route de St-Cyr. 78000 Versailles.

LUCEY S., ROWLANDS G.J., 1984. The association between clinical mastitis and milk yield in dairy cows. Anim. Prod., 39, 165-175.

MAFF 1977-78 et 1983. Bridgets and Trawscoded enf., ADAS.

MARQUIS B., HODEN A., 1977. Répercussions de quelques ennuis sanitaires sur la production des vaches laitières. Bull Tech. CRZV Theix, INRA, 29, 29-33.

MATHER R.E., BREIDENSTEIN C.P., POULTON B.R., BONNINGTON Gr. H. 1959. High levels of grass silage for milk production with no grain, medium and high grain feeding. 1. Intake, milk production, and body weight changes. J. Dairy Sci., 42, 358-370.

MOISEY F.R., LEAVER J.D., 1985. Systems of concentrate allocation for dairy cattle. 3. A comparaison of two flat-rate feeding systems at two amounts of concentrates. Anim. Prod., 40, 209-217.

OSTERGAARD V., 1979. Strategies for concentrate feeding to attain optimum feeding level in high yielding dairy cow Beret. Statens Husdyrburgs Forsoegsmejer. 482 : 114-123.

OSTERGAARD V., KROHN C.C., THYSEN I., 1987. Feeding principles and optimum feeding of the high yielding dairy cow. Cattle Production Research. Damis Status and Perspectives. Copenhagen pp. 126-139.

RAKES A.H., DAVENPORT D.G., 1971. Response of dairy cows to two systems of distributing annual concentrates oven the lactation cycle. J. Dairy Sci., 54, 1300-1310.

REMOND B., ROBELIN J., CHILLIARD Y., 1988. Estimation de la teneur en lipides des vaches laitières Pie-Noires par la méthode de notation de l'état d'engraissement. INRA Prod. Anim., 1, sous presse.

SEEBECK, R.M. 1973. The effect of body weight loss on the composition of Brahman cross and Africander cross steers. I. Empty body weight dressed carcass weight and offal components. J. Agric. Sci., 80 : 201-210.

STEEN R. W. J. and Gordon F. J., 1980a. The effect of level and system of concentrate allocation to January/February calving cows on total lactation performance. Anim. Prod., 30 : 39-51.

SPIKE P.W., FREEMAN D.E., 1967. Environmental influences onmonthly variation in milk constituents. J. Dairy Sci. (50), 1897-1904.

STEACY G.M., CHRISTENSEN D.A., COHRAN M.I., HORTON J., 1983. An evaluation of three stages of maternity of hay fed with two concentrate levels for lactating dairy cows. Can. J. Anim. Sci., 63, 623-624.

TAYLOR W., LEAVER J.O., 1984. Systems of concentrate allocation for dairy cattle. 1. A comparaison of three patterns of allocation for autumn-calving cows and heifers offered grass silage ad libitum. Anim. Prod., 39, 315-324.

TROCCON J.L., RULQUIN H., JOURNET M., 1979. Capacité d'ingestion comparée des vaches primipares et multipares. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA (36), 43-48.

TROCCON J.L., 1987. Recommandations alimentaires pour les veaux et génisses d'élevage. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70.

VERITE R., 1972. Complementation des rations à base d'ensilage de maïs en début de lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA (7), 5-9.

VERITE R., GEAY Y., 1987. Testing and implementing the PDI system in France. C.E.C. Seminar Brussels, 25-27. June 1986. Ed. CEC Luxembourg, 249-261 p.

VERITE R., JOURNET M., 1973. Complémentation des rations à base d'ensilage de maïs en début de lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA (11), 41-46.

VERITE R., PEYRAUD J.L., 1988. Nutrition azotée in L'alimentation des bovins, ovins et caprins. Ed. R. JARRIGE, INRA Publications, Route de St-Cyr, 78000 Versailles.

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du Système des Unités Fourragères. Bull Tech. CRZV. Theix, INRA, 70.

VINET C., BOUCHARD R., SAINT LAURENT Gr. S., 1980. Effects of stage of maturity of timothy hay and concentrate supplementation on performance of lactating dairy cows. Can. J. Anim. Sci., 60, 511-521.

WIKTORSSON H., 1971. Studies on the effect of different levels of nutrition for days cows. Swed. J. Agric. Sci., 1, 83-103.

WIKTORSSON H., 1979. General plane of nutrition for dairy cows. In : Feeding strategy for the high yielding dairy cow. Ed. W.H. BROSTER and H. SWAN, pp. 148.

TABLEAU 11

Quantité d'aliment concentré (kg de MS) à apporter pour couvrir les besoins énergétiques des vaches selon leur production laitière (kg de lait à 4 p. 100), la valeur énergétique (UFL/kg de MS) et la valeur d'encombrement (UEL/kg de MS) du fourrage et la valeur énergétique du concentré (UFL/kg de matière brute)

PL4% (kg/j)		15			20			25			30			35		
CONCENTRE UFL /kg M.S.		1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93
FOURRAGE UFL	UEL															
	0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	2,0	2,6	4,3	5,2	6,6
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	2,9	3,5	4,5	5,5	6,6	8,4
	1,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,6	2,1	4,0	4,8	6,3	6,5	7,9	
0,95	1,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2,9	3,8	5,0	6,0	7,8	7,5	9,1	
	1,15	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,8	3,2	4,0	5,3	5,9	7,1	9,1	8,4		
	1,20	0,0	0,0	0,0	1,4	1,7	2,3	4,1	5,0	6,5	6,7	8,1		9,2		
	0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	2,8	3,4	4,4	5,4	6,5	8,1
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,7	2,1	4,0	4,8	6,1	6,5	7,8	9,8
	1,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	2,9	3,7	5,0	6,0	7,6	7,5	9,0	
0,90	1,10	0,0	0,0	0,0	0,7	0,8	1,1	3,3	4,0	5,2	5,9	7,1	9,0	8,4		
	1,15	0,0	0,0	0,0	1,5	1,9	2,4	4,2	5,1	6,5	6,7	8,1		9,2		
	1,20	0,0	0,0	0,0	2,3	2,8	3,7	4,9	6,0	7,7	7,5	9,0				
	0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,7	2,2	3,9	4,7	5,9	6,4	7,6	9,5
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	3,0	3,8	5,0	6,0	7,5	7,4	8,9	
	1,05	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	1,3	3,4	4,1	5,2	5,9	7,1	8,9	8,4		
0,85	1,10	0,0	0,0	0,0	1,7	2,1	2,6	4,2	5,1	6,5	6,7	8,1		9,2		
	1,15	0,0	0,0	0,0	2,5	3,0	3,9	5,0	6,1	7,7	7,5	9,0				
	1,20	0,6	0,7	0,9	3,2	3,9	5,0	5,7	6,9	8,8	8,2	9,9				
	0,95	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	2,6	3,1	3,8	5,0	5,9	7,4	7,4	8,8	
	1,00	0,0	0,0	0,0	1,0	1,2	1,5	3,5	4,2	5,2	5,9	7,1	8,8	8,4	9,9	
	1,05	0,0	0,0	0,0	1,9	2,2	2,8	4,3	5,2	6,5	6,8	8,1		9,2		
0,80	1,10	0,1	0,2	0,2	2,6	3,2	4,0	5,1	6,1	7,7	7,6	9,0				
	1,15	0,8	1,0	1,3	3,3	4,0	5,1	5,8	7,0	8,8	8,3	9,9				
	1,20	1,5	1,8	2,2	4,0	4,8	6,2	6,5	7,8	9,8	9,0					
	1,25	2,1	2,5	3,2	4,6	5,6	7,1	7,1	8,6		9,7					
	0,95	0,0	0,0	0,0	1,2	1,4	1,8	3,6	4,3	5,3	6,0	7,1	8,7	8,4		
	1,00	0,0	0,0	0,0	2,1	2,5	3,0	4,5	5,3	6,6	6,9	8,1		9,3		
	1,05	0,4	0,5	0,6	2,8	3,4	4,2	5,2	6,2	7,8	7,7	9,1				
0,75	1,10	1,1	1,3	1,6	3,5	4,2	5,3	6,0	7,1	8,8	8,4					
	1,15	1,7	2,1	2,6	4,2	5,0	6,3	6,6	7,9	9,9	9,1					
	1,20	2,3	2,8	3,5	4,8	5,8	7,2	7,3	8,7		9,8					
	1,25	2,8	3,4	4,4	5,4	6,5	8,1	7,9	9,4							
	1,30	3,4	4,1	5,2	5,9	7,1	9,0	8,4								
	1,05	1,4	1,6	2,0	3,7	4,4	5,5	6,1	7,3	8,9	8,5					
	1,10	2,0	2,3	2,9	4,4	5,2	6,5	6,8	8,1	9,9	9,2					
	1,15	2,6	3,0	3,8	5,0	5,9	7,4	7,4	8,8		9,9					
0,70	1,20	3,1	3,7	4,6	5,6	6,6	8,3	8,0	9,5							
	1,25	3,6	4,3	5,4	6,1	7,3	9,1	8,6								
	1,30	4,1	4,9	6,2	6,6	7,9	9,9	9,1								
	1,05	2,3	2,7	3,3	4,6	5,4	6,7	7,0	8,2							
	1,10	2,8	3,3	4,1	5,2	6,2	7,6	7,6	9,0							
	1,15	3,3	4,0	4,9	5,8	6,9	8,5	8,2	9,7							
0,65	1,20	3,8	4,6	5,7	6,3	7,5	9,3	8,8								
	1,25	4,3	5,2	6,5	6,8	8,1		9,3								
	1,30	4,8	5,7	7,2	7,3	8,7		9,8								

TABLEAU 12

Quantité de fourrage consommée (kg de MS) à la couverture des besoins énergétiques des vaches selon la production laitière (kg de lait à 4 p. 100) des vaches, la valeur énergétique (UFL/kg de MS) et la valeur d'encombrement (UEL/kg de MS) du fourrage et la valeur énergétique du concentré (UFL/kg de matière brute)

PL4% (kg/j)		15			20			25			30			35		
CONCENTRE UFL /kg M.S.		1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93
FOURRAGE UFL	UEL															
	0,95	16,7	16,7	16,7	17,3	17,3	17,3	17,9	17,9	17,9	17,6	17,4	17,1	17,1	16,7	16,1
	1,00	15,9	15,9	15,9	16,5	16,5	16,5	16,9	16,9	16,9	16,2	15,9	15,4	15,8	15,3	14,7
	1,05	15,1	15,1	15,1	15,7	15,7	15,7	15,5	15,4	15,2	15,0	14,6	14,1	14,7	14,2	
0,95	1,10	14,4	14,4	14,4	15,0	15,0	15,0	14,4	14,1	13,7	14,0	13,6	12,9	13,7	13,2	
	1,15	13,8	13,8	13,8	14,1	14,0	13,9	13,4	13,1	12,6	13,1	12,6	12,0	12,9		
	1,20	13,2	13,2	13,2	13,1	12,9	12,6	12,5	12,2	11,6	12,3	11,8		12,1		
	0,95	16,7	16,7	16,7	17,3	17,3	17,3	17,8	17,8	17,7	17,1	16,8	16,4	16,7	16,3	15,7
	1,00	15,9	15,9	15,9	16,5	16,5	16,5	16,3	16,2	16,0	15,8	15,5	15,0	15,5	15,1	14,4
	1,05	15,1	15,1	15,1	15,7	15,7	15,7	15,1	14,9	14,5	14,7	14,3	13,7	14,5	14,0	
0,90	1,10	14,4	14,4	14,4	14,6	14,6	14,4	14,0	13,7	13,3	13,7	13,3	12,7	13,5		
	1,15	13,8	13,8	13,8	13,6	13,4	13,2	13,1	12,8	12,2	12,9	12,4		12,7		
	1,20	13,2	13,2	13,2	12,7	12,5	12,1	12,3	11,9	11,4	12,1	11,6				
	0,95	16,7	16,7	16,7	17,3	17,3	17,3	17,2	17,0	16,8	16,7	16,4	15,9	16,5	16,0	15,4
	1,00	15,9	15,9	15,9	16,5	16,5	16,5	15,9	15,6	15,3	15,5	15,1	14,6	15,3	14,8	
	1,05	15,1	15,1	15,1	15,3	15,2	15,0	14,7	14,4	14,0	14,5	14,0	13,4	14,3		
0,85	1,10	14,4	14,4	14,4	14,2	14,0	13,7	13,8	13,4	12,9	13,5	13,1		13,4		
	1,15	13,8	13,8	13,8	13,2	13,0	12,6	12,9	12,5	12,0	12,7	12,2				
	1,20	12,9	12,9	12,8	12,4	12,1	11,7	12,1	11,7	11,1	11,9	11,5				
	0,95	16,7	16,7	16,7	17,3	17,3	17,3	16,7	16,5	16,2	16,4	16,0	15,5	16,2	15,7	
	1,00	15,9	15,9	15,9	16,0	15,9	15,7	15,5	15,2	14,8	15,2	14,8	14,3	15,1	14,6	
	1,05	15,1	15,1	15,1	14,8	14,6	14,4	14,4	14,1	13,6	14,2	13,8		14,1		
0,80	1,10	14,4	14,4	14,3	13,8	13,6	13,2	13,5	13,1	12,6	13,3	12,9				
	1,15	13,4	13,3	13,2	12,9	12,6	12,2	12,7	12,3	11,7	12,5	12,0				
	1,20	12,5	12,4	12,2	12,1	11,8	11,4	11,9	11,5	10,9	11,8					
	1,25	11,8	11,6	11,3	11,4	11,1	10,6	11,2	10,8		11,1					
	0,95	16,7	16,7	16,7	16,7	16,6	16,5	16,3	16,1	15,7	16,1	15,7	15,1	16,0		
	1,00	15,9	15,9	15,9	15,5	15,3	15,1	15,2	14,9	14,4	15,0	14,6		14,9		
	1,05	14,9	14,9	14,8	14,4	14,2	13,9	14,2	13,8	13,3	14,0	13,6				
0,75	1,10	13,9	13,8	13,6	13,5	13,2	12,8	13,3	12,9	12,3	13,1					
	1,15	13,0	12,9	12,6	12,7	12,4	11,9	12,5	12,1	11,5	12,3					
	1,20	12,2	12,0	11,7	11,9	11,6	11,1	11,7	11,3		11,6					
	1,25	11,5	11,3	10,9	11,2	10,9	10,4	11,1	10,6							
	1,30	10,9	10,6	10,2	10,6	10,2	9,7	10,5								
	1,05	14,5	14,4	14,2	14,1	13,9	13,5	13,9	13,6	13,0	13,8					
	1,10	13,5	13,4	13,1	13,2	12,9	12,5	13,1	12,7	12,1	12,9					
	1,15	12,7	12,5	12,2	12,4	12,1	11,6	12,3	11,9		12,2					
0,70	1,20	11,9	11,7	11,3	11,7	11,4	10,8	11,6	11,1							
	1,25	11,3	11,0	10,6	11,1	10,7	10,1	10,9								
	1,30	10,6	10,4	9,9	10,5	10,1	9,5	10,3								
	1,05	14,1	13,9	13,7	13,9	13,6	13,1	13,7	13,3							
	1,10	13,2	13,0	12,7	13,0	12,7	12,2	12,9	12,4							
	1,15	12,4	12,2	11,8	12,2	11,9	11,3	12,1	11,6							
0,65	1,20	11,7	11,4	11,0	11,5	11,1	10,6	11,4								
	1,25	11,0	10,7	10,3	10,9	10,5		10,7								
	1,30	10,4	10,1	9,7	10,3	9,9		10,1								

TABLEAU 13

Coefficient de correction E de la valeur énergétique de la ration à la couverture des besoins (tableau 11), selon la production laitière (kg de lait à 4 p. 100) des vaches, la valeur énergétique (UFL/kg de MS) et la valeur d'encombrements (UEL/kg de MS) du fourrage et la valeur énergétique du concentré (UFL/kg de matière brute)

PL4% (kg/j)		15			20			25			30			35		
CONCENTRE UFL /kg M.S.		1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93	1,16	1,05	0,93
FOURRAGE UFL	UEL															
0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93
	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	
	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,94	0,92	
	1,15	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,95	0,95	0,93	0,91	0,93		
	1,20	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,94	0,94	0,92		0,92		
0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93
	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,94	0,93	
	1,10	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,95	0,95	0,94	0,92	0,93		
	1,15	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,93	0,94	0,93		0,92		
	1,20	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,93	0,91				
0,85	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93
	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	
	1,05	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,93		
	1,10	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,96	0,94	0,94	0,93		0,93		
	1,15	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,93	0,92				
	1,20	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,90	0,92	0,91				
0,80	0,95	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,94	0,95	0,94	
	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,94	0,93	
	1,05	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,95	0,93		0,93		
	1,10	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,96	0,96	0,94	0,93	0,94	0,92				
	1,15	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,95	0,95	0,93	0,91	0,93	0,91				
	1,20	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,94	0,92	0,89	0,92					
	1,25	0,98	0,98	0,97	0,95	0,94	0,91	0,93	0,91		0,91					
0,75	0,95	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,94		
	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94		0,93		
	1,05	0,99	1,00	1,00	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,94	0,92				
	1,10	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,95	0,95	0,93	0,91	0,93					
	1,15	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,94	0,92	0,90	0,92					
	1,20	0,98	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92	0,93	0,91		0,91					
	1,25	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,90	0,92	0,90							
	1,30	0,96	0,95	0,93	0,93	0,91	0,88	0,91								
0,70	1,05	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92	0,93					
	1,10	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,90	0,92					
	1,15	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,93	0,91		0,91					
	1,20	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,90	0,92	0,90							
	1,25	0,96	0,95	0,93	0,93	0,91	0,88	0,91								
	1,30	0,95	0,94	0,91	0,92	0,90	0,87	0,90								
0,65	1,05	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93							
	1,10	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,93	0,92							
	1,15	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,90	0,92	0,90							
	1,20	0,96	0,95	0,93	0,93	0,92	0,89	0,91								
	1,25	0,95	0,94	0,91	0,92	0,90		0,90								
	1,30	0,94	0,92	0,89	0,91	0,89		0,89								

P 1497

ERRATA

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 153-166

Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes

J. AGABRIEL et M. PETIT.

INRA - CRZV Theix, Station des Productions Bovines et Chevalines, 63122 Ceyrat.

Les connaissances acquises au cours de la dernière décennie sur les besoins nutritionnels de la vache allaitante et sur les variations de sa productivité selon le niveau des apports alimentaires ont permis d'envisager une amélioration significative des recommandations pour l'alimentation hivernale. Ces recommandations ont été proposées dans le livre sur l'Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins (PETIT, 1988). Nous envisageons ici d'en préciser les fondements, tout en indiquant les "flous" qui subsistent dans des domaines importants.

Les apports alimentaires recommandés pour les vaches allaitantes ne cherchent pas à satisfaire en permanence leurs besoins, mais plutôt à minimiser les dépenses aux époques de faibles disponibilités fourragères, c'est-à-dire sous nos climants durant l'hivernage. C'est ainsi que la conduite traditionnelle du troupeau fait appel à un amaigrissement des vaches durant l'hiver compensé par une récupération de leur poids et de leur état corporel au pâturage. Les recommandations alimentaires hivernales visent à préciser les limites de la réduction des apports en deça desquelles la production du troupeau serait compromise.

Nous rappelerons tout d'abord les conséquences possibles d'une sous-alimentation de la vache allaitante à différentes périodes du cycle gestation-lactation, en utilisant préférentiellement les résultats d'expériences au cours desquelles des niveaux d'alimentation différents ont été appliqués de manière répétée aux mêmes vaches durant plusieurs hivers successifs ; ces expériences de longue durée sont en effet le garant des recommandations proposées.

Puis nous tenterons de faire le point sur le rôle tampon des réserves corporelles, son importance, ses limites et sur les économies mises en jeu au cours des périodes de sous-alimentation, économies dont les mécanismes restent pour la plupart à élucider. Nous utiliserons fréquemment dans cet article la note d'état corporel qui est un indice de l'état des réserves obtenu aisément par maniements et comparaison à une grille de référence (notes de 0 à 5, d'après AGABRIEL *et al*, 1986, pour les vaches de races à viande françaises).

Enfin, nous préciserons les principales modifications apportées aux recommandations de 1978, qui portent principalement sur leur adaptation à des types de vaches différents (quant à l'état à la rentrée à l'étable, l'âge, la race...) et à diverses époques de vêlage (à la fin de l'été en plus de la période habituelle de l'hiver). Les données expérimentales utilisées seront de préférence celles obtenues sur les vaches des races à viande ou rustiques utilisées en France.

I. Les effets du niveau d'alimentation

1. Poids et vitalité du veau à la naissance

Il est maintenant bien établi qu'une réduction, même importante, du niveau d'alimentation énergétique ou global au cours de la fin de la gestation, c'est-à-dire durant la période de croissance foetale maximale, ne menace généralement pas la survie du veau né simple, ni avant ni après sa naissance. La vigueur et la résistance du veau, qui dépendent de bien d'autres facteurs (dont surtout le bon déroulement de la naissance) ne sont apparemment pas modifiées. Sur le domaine INRA du Pin-au Haras, des vaches charolaises sous-alimentées de 2,5 UFL par jour et ne prenant que peu de poids vif (0,23 kg/jour) au cours des 2 à 3 derniers mois de la gestation ont donné naissance à des veaux d'un poids élevé (47 kg) et identique à celui des veaux de vaches homologues nourries selon leurs besoins moyens et dont le gain de poids était de 0,52 kg par jour au cours de la même période (tableau 1).

Pour que le poids à la naissance des veaux de vaches adultes soit réduit significativement, il faut que leurs mères perdent du poids vif tout en étant gestantes (revue de PETIT, 1979) ; il s'agit là de situations extrèmes peu courantes dans notre pays. Les veaux nés de toute jeunes vaches, de deux ans par exemple, sont en revanche plus sensibles au niveau d'alimentation en gestation, car la réduction des apports alimentaires limite le développement de leurs mères au vêlage et par là celui de leur veau. Un veau hypotrophié à la naissance a moins de chances de survivre et parfois une vitesse de croissance réduite ; il n'est cependant pas possible de faire la part de ce qui est dû à son état physiologique propre, ou aux altérations de son environnement maternel (déroulement du vêlage, soins au nouveau-né, quantité et qualité du colostrum puis du lait disponible...).

Les conséquences de variations du niveau d'alimentation au cours de stades plus précoces de la gestation (lorsque la survie embryonnaire n'est plus menacée) sont mal connues, en particulier sur le développement et la "qualité" du placenta. De même les effets spécifiques d'une sous-alimentation azotée prononcée ne peuvent être précisés.

2. Production laitière et croissance du veau

A la suite des premières études américaines portant sur des races peu laitières (Hereford surtout) et d'études françaises portant à la fois sur des vaches de races à viande charolaise (7 à 8 kg de lait par jour) et rustique Salers (8 à 9 kg) (Petit, 1978), d'autres travaux ont établi que la production laitière de la vache allaitante est peu sensible à une réduction des apports énergétiques ou globaux.

Lorsque la durée d'allaitement à l'étable est de courte durée, même une sous-alimentation importante (−2,5 UFL par jour, prolongée depuis la fin de la gestation) ne réduit pas ou peu la production laitière hivernale (tableau 1) ; elle reste limitée par la capacité d'ingestion du tout jeune veau. Sa croissance n'est donc pas modifiée, d'autant qu'à cet âge elle dépend avant tout d'autres facteurs, dont l'état sanitaire. Il en est évidemment de même du poids au sevrage (tableau 1). La production au début de la saison de pâturage peut même être plus importante chez les vaches auparavant sous-alimentées (HODGSON *et al*, 1980).

La production laitière, mesurée dans d'excellentes condition, peut être réduite de manière statistiquement significative par une sous-alimentation de plus longue durée, même modérée (−1,5 UFL par rapport aux besoins) (PETIT et MICOL, 1981). Mais cette réduction de la production reste faible chez les vaches adultes, même lorsqu'elles sont maigres au vêlage (AGABRIEL et PETIT, non publié) ; elle est par exemple de 0,4 kg par jour au bout de 3 mois de lactation pour des vaches salers allaitant un veau, mais peut atteindre 1,5 kg par jour si elles allaitent deux veaux (PETIT et GAREL, 1981).

TABLEAU 1

Effets du niveau d'alimentation hivernale pendant 4 années successives (vaches charolaises multipares, région de plaine)

Apports énergétiques hivernaux :	=besoins		=besoins - 2,5 UFL
Nombre d'années-vaches	80		82
Perte de poids vif Hivernale (kg)	-19	**	-52
Gain de poids au pâturage (kg)	33	**	62
VEAUX :(1)			
Date de naissance	25/2		22/2
Poids de naissance (kg)	46,9		47,1
GMQ naissance-sevrage (kg/jour)	1,02		1,00
Lait bu (kg /jour)	7,7		7,6
Poids au sevrage (kg)	305		307
REPRODUCTION :			
Vaches cyclées 60 jours après le vêlage (%)	72	*	56
Taux de gestation (%)	91		98
Intervalle entre vélages (jours)	375		371

Les vaches sont entrées en expérience après le sevrage de leur premier veau pour une durée de 4 ans. Les vaches vides ou non allaitantes étaient réformées. La période de vêlage était fixée entre la mi-Janvier et la mi-Mai. La période de monte allait de la mise à l'herbe mi-Avril jusqu'au 10 Août.

(1): Veaux simples ;(mâles + femelles) / 2
Différences significatives : * p<0,05 ; ** p<0,01

La sous-alimentation hivernale ne peut donc handicaper la croissance des veaux (allaités seuls) que si elle se prolonge et si ceux-ci ne reçoivent pas une alimentation complémentaire adéquate. Cela reste vrai pour des stades de lactation plus avancés, aussi bien pendant l'hivernage de vaches ayant vêlé à la fin de l'été (LIENARD et PETIT, 1987), qu'au pâturage avec des chargement élevés (BAKER *et al*, 1982 ; LEBLANC *et al*, 1983 ; PETIT *et al*, 1987b). Les réductions du gain de poids des veaux au pâturage résultent beaucoup plus de la faible quantité d'herbe ingérée que de la diminution de production laitière de leurs mères (tableau 2).

Cependant, la production laitière des jeunes vaches est plus sensible à une réduction des apports alimentaires ; par exemple, celle de primipares Salers sous-alimentées (-1,5 UFL en-dessous de leurs besoins d'entretien et de production) a été inférieure de 0,9 kg/jour à celle de leurs homologues mieux nourries (+0,5 UFL au-dessus de leurs besoins) : 6,4 vs. 7,3 kg/j au cours des 3 mois de lactation hivernale ($P < 0,01$) (GAREL et PETIT, non publié) ; la croissance hivernale et le poids au sevrage de leurs veaux ont été significativement réduits (259 vs. 277 kg).

Les résultats précédents ont dans la plupart des cas été obtenus avec des rations qui apportaient au moins 85 % des besoins azotés évalués par la méthode factorielle. Dans deux essais sur trois réalisés avec une ration de fourrages secs (PETIT *et al*, 1987a), ajouter un déficit azoté important au déficit énergétique a accru la perte de poids de la mère avant d'atteindre sa production laitière et la croissance du veau. Nous ne savons cependant pas ce qu'il en serait avec des vaches très amaigries, ni avec des rations comportant des matières azotées très dégradables (ensilages d'herbe mal conservés par exemple).

3. Reproduction

C'est le plus souvent sur la reproduction d'un faible niveau d'alimentation avant ou après vêlage a les conséquences les plus fâcheuses chez la vache allaitante, se traduisant par un taux de gestation réduit et/ou un allongement de l'intervalle entre vêlages se traduisant par des naissances tardives et un poids au sevrage plus faible. Cela résulte schématiquement de l'effet du niveau d'alimentation sur l'état corporel (effet à moyen terme), du niveau "instantané" des apports (effet à court terme) et des interactions entre ces deux facteurs autour de la période de reproduction (LAMOND, 1970 ; YOUDAN ET KING, 1977 ; GUNN, 1983).

L'effet de l'état a souvent été reconnu comme prépondérant chez les vaches à viande, car il conditionne la venue en chaleur après vêlage : quel que soit le niveau alimentaire de part et d'autre de la mise-bas, celles qui sont en bon état reviennent tôt en chaleur. Au contraire, les vaches en mauvais état reviennent en chaleur plus tardivement, surtout si elles perdent du poids (principalement avant vêlage d'après DUNN et KALTENBACH, 1980) ; cela a été confirmé dans une expérience récente concernant les effets de l'état à la rentrée à l'étable (AGABRIEL *et al*, non publié). C'est sans doute pourquoi le retour en chaleur dépend généralement plus du niveau des apports avant qu'après vêlage (WILTBANK *et al*, 1964), comme le confirment les résultats obtenus sur le Domaine INRA de Marcenat (tableau 3). Le concept d'un état minimum au vêlage a été avancé, état en-dessous duquel le retour en chaleur est différé quel que soit le niveau des apports alimentaires (HARESIGN, 1984).

TABLEAU 2

Effets du niveau d'alimentation hivernale et du chargement durant la seconde moitié du pâturage, pendant 4 années successives (vaches salers multipares, région de montagne)

Apports énergétiques hivernaux	=besoins		=besoins-1,5 UFL		Signification des effets hiver.	pâturage
Niveau du chargement durant la 2° moitié du pâturage	normal	fort	normal	fort		
Nombre d'années - vaches	73	77	74	76		
Perte de poids hivernale (kg)	39	31	60	50	***	*
Gain de poids au pâturage (kg)	56	44	71	60	***	***
VEAUX						
Date de naissance	27/1	29/1	01/2	03/2		
Poids naissance (kg)	42,7	41,1	41,9	40,6		
GMQ naissance-sevrage (kg/jour)	1,07	1,03	1,04	1,00	**	***
Poids au sevrage (kg)	312	302	304	284	*	**
REPRODUCTION						
Vaches cyclées 2 mois après le vélage	38	22	8	25	*	NS
Taux de gestation (%)	95	97	97	100		
Intervalle entre vélages (jours)	363	363	368	368		

Différences significatives * : p<0,05 ; ** : p<0,01 ; *** p<0,001

TABLEAU 3

Effets du niveau des apports énergétiques hivernaux à la fin de la gestation ou au début de la lactation

	Essai fin de gestation				Essai début de lactation			
Energie ingérée (UFL)								
fin gestation	6,1	**	5,0	(3 mois)	5,7		5,7	(2 mois)
début lactation	7,5		7,5	(1,5 mois)	9,2	**	7,0	(3 mois)
Production laitière hivernale (kg/j)	9,4		9,2		8,7		7,9	
Gain de poids des veaux (kg/j)	0,81		0,81		0,80		0,75	
Perte de poids vif vide (kg)								
fin gestation	- 12	**	- 25		- 23		- 20	
début lactation	- 26		- 27		- 25	**	- 52	
% vaches cyclées	70	*	43	(45 jours)	64		63	(65 jours)
Taux de gestation								
1ère I.A.	45	*	27		59	*	21	
global	95		89		100		96	

Note: dans chaque expérience, la moitié des vaches allaitaient 2 veaux (dont un adopté)

Différences significatives * : p<0,05 ; **: p<0,01 ; *** : p<0,001

Les rôles respectifs de l'état et du niveau alimentaire "en cours" sur la fertilité des vaches cyclées n'ont pas été dissociés de manière claire. Cependant, une sous-alimentation importante après le vêlage et poursuivie au cours de la période de reproduction (par exemple de −2 UFL par jour) réduit cette fertilité (tableau 3).

Globalement, lorsque la période de monte débute à la mise à l'herbe (vêlages moins de 1,5 à 2 mois auparavant), et que celle-ci a lieu dans de bonnes conditions (quantité d'herbe, climat), des vaches sous-alimentées en hiver peuvent être fécondées aussi rapidement que celles qui ont été mieux alimentées (tableau 1), dès lors qu'elles ne sont pas en trop mauvais état. L'amélioration brutale du niveau alimentaire facilite les retours en chaleur et est favorable à une bonne fertilité. Nous avons admis que les vaches peuvent alors être mises à l'herbe dans un état médiocre à moyen : 1,5 à 2 sur 5 selon que l'herbe offerte est abondante ou non.

En revanche, si la période de reproduction débute avant la mise à l'herbe (vêlages du début de l'hiver), les vaches ne peuvent généralement pas bénéficier durant l'hivernage d'une augmentation brutale du niveau d'alimentation comme à la mise à l'herbe. Aussi est-il alors souhaitable de les amener dans un état suffisant au début de la période de monte et de le maintenir si possible jusqu'à la mise à l'herbe, pour assurer la venue en chaleur et une fertilité normale. Nous avons admis que l'état favorable est d'au moins 2,5 sur 5 et que les vaches ne devaient pas être sous-alimentées au cours de la période de monte. On peut supposer qu'il doit en être de même pour les vaches qui vêlent en fin d'été ou début d'automne, dont une partie au moins se reproduisent après la rentrée à l'étable.

Ces nobes-"cibles" ont été choisies à partir des résultats déjà obtenus à l'INRA et correspondent sensiblement à celles proposées par LOWMAN (1976) et KILKENNY (1978) à partir d'observations effectuées en majorité sur des vaches de races à viande anglo-saxonnes ou croisées Frisonnes. Une étude en cours ITEB-INRA devrait permettre de les préciser dans les conditions d'élevages charolais et limousin.

Comme dans le cas de la production laitière, la reproduction des vaches primipares est plus sensible au niveau d'alimentation que celle des vaches plus âgées ; un déficit énergétique journalier de 1,5 UFL à l'échelle de l'hiver peut retarder leur vêlage suivant de 3 semaines par rapport à celui de vaches mieux nourries (GAREL *et al*, 1988).

Nous n'avons pas envisagé ici la reproduction des génisses. En effet, malgré la faible précocité sexuelle des femelles allaitantes utilisées en France, elles sont dans la plupart des cas pubères et fertiles à 24-27 mois, lorsqu'elles sont mises à la reproduction (TROCCON, 1987). Cependant, un second hivernage réalisé dans de mauvaises conditions (faible niveau d'alimentation, stabulation entravée, étable sombre), peut chez les génisses les plus jeunes et/ou les moins développées, mettre en "sommeil" une activité ovarienne qui s'était manifestée au cours de la période de pâturage précédente (PELOT *et al*, 1984). La première fécondation peut alors être retardée.

Il existe aussi des effets différés du niveau nutritionnel durant la phase d'élevage sur les performances de reproduction globales à l'échelle de la vie : fertilité, conditions de vêlage, survie des veaux. Mais les résultats expérimentaux dans ce domaine restent trop limités pour que nous puissions déjà en tenir compte ; rappelons simplement ici que les études à long terme réalisées aux USA en conditions de ranching indiquent qu'il existerait un niveau d'alimentation optimal durant la période d'élevage et de production, pour lequel la productivité numérique serait légèrement accrue (PINNEY *et al*, 1972 ; HUGUES *et al*, 1978). Dans les expériences réalisées en France avec des vaches multipares pendant plusieurs lactations, les apports alimentaires hivernaux correspondant strictement aux "dépenses" ne semblent d'ailleurs pas toujours donner les meilleurs résultats de taux de gestation (tableaux 1 et 2).

II. Les variations des réserves corporelles

Les variations de poids vif et d'état constituent les manifestations les plus visibles des phénomènes de mobilisation et de reconstitution des réserves corporelles. A l'échelle de l'année, l'amplitude totale de la variation du poids vif de la vache allaitante peut atteindre 20 % de son poids après vêlage soit 100 à 150 kg pour une vache charolaise adulte : le poids maximum se situe juste avant le vêlage et le poids minimum juste après la mise à l'herbe.

Ces variations importantes de poids vif reflètent assez mal celles de la masse corporelle : les plus importantes proviennent de la perte du contenu utérin lors du vêlage (jusqu'à 1,7 fois le poids du veau à la naissance) et des variations du contenu digestif, en particulier à la mise à l'herbe. Selon les cas ces modifications amplifient ou masquent le gain ou la perte de masse corporelle.

L'état corporel, mesuré dans des conditions aussi rigoureuses que possible sur des vaches normalement sous-alimentées en hiver, diminue fréquemment de la note 3-3,5 à la rentrée à l'étable à 1,5-2,0 à la mise à l'herbe.

Nous analyserons succintement les variations annuelles du contenu digestif et de la masse corporelle, avant de décrire l'importance et la composition des réserves.

1. Variations annuelle du contenu digestif et de la masse corporelle

Comme chez tous les ruminants, il est primordial de bien connaître le poids du contenu digestif de la vache allaitante. Ses variations à court terme, au cours de la journée ou d'un jour à l'autre, ou à plus long terme avec le régime alimentaire ou l'état physiologique, perturbent constamment l'appréciation des variations réelles de la masse corporelle (ou poids vif vide) (cf chapitre sur les réserves corporelles dans le même numéro, CHILLIARD *et al*, 1987). Cela est amplifié chez la vache allaitante par rapport à d'autres types de bovins car elle consomme souvent des fourrages peu digestibles au cours de la période hivernale, ce qui accroît la perte de poids à la mise à l'herbe. C'est le contenu ruminal dont la part est généralement appréciée à 80 % du contenu digestif total qui en représente l'élément le plus variable en valeur absolue.

Au cours de l'hiver le contenu ruminal augmente après le vêlage : le contenu ruminal de six vaches charolaises (670 kg après vêlage) recevant une ration constante de 10 kg de foin, est passé de 100 kg en gestation à 112 kg en lactation (tableau 4) uniquement du fait du stade physiologique. Ceci est d'autant plus vrai pour des vaches recevant du foin à volonté dont les quantités ingérées s'accroissent de 10,8 à 13,2 kg pour un foin de 1,20 UEB. On sait en effet qu'augmenter ou réduire brutalement d'un kg de matière sèche (MS) la quantité de foin ingé-

rée entraîne une variation au moins à court terme de 6 kg du poids vif (PETIT et MICOL, 1981), dont environ 4 kg de contenu ruminal (AGABRIEL et GIRAUD, 1988). En admettant que l'on puisse extrapoler ces valeurs à de plus longues périodes et à des vaches alimentées à volonté, le contenu ruminal s'accroîtrait de 10 kg supplémentaires entre le début et la fin de l'hiver du fait de l'augmentation des quantités ingérées.

Mais après une distribution en quantité limité, 5,5 kg de MS distribué en moins pendant 120 jours par exemple (tableau 4) un écart entre lots d'un kg de MS ingérée ne se traduit que par une différence de 2,5 kg de contenu ruminal ; les vaches restreintes compensent la perte de contenu liée à la baisse des quantités ingérées par une augmentation de la teneur en eau du contenu ruminal comme l'avait observé DOREAU *et al* (1986) sur des vaches laitières.

En définitive, le contenu ruminal ne pourra être considéré comme invariable que dans le cas de rations "normalement" limitées distribuées en quantité constante à des vaches de même stade physiologique (lactation) : variations de poids vif et variations de masse corporelle seront alors comparables.

La perte hivernale de masse corporelle dépend bien évidemment du niveau de sous-alimentation, mais dans les conditions moyennes des apports alimentaires recommandés elle représente 10 % environ du poids vif vide (PVV). Une perte de 50 kg a ainsi été mesurée sur 21 charolaises fistulées qui pesaient 655 kg après vêlage soit 500 kg de PVV.

A la mise à l'herbe le contenu ruminal chute brutalement de 110 kg (pour un régime hivernal de 10 kg de MS de foin) à 75 kg environ chez la vache charolaise (tableau 4) ce qui correspond à une perte de poids vif de près de 40 kg. Il s'accroît à nouveau au cours de la période de pâturage, de 15 kg (moyenne sur 3 années) pour des vaches exploitant un pâturage de montagne en rotation (tableau 4). Dans d'autres conditions, comme en pâturage libre de plaine, l'accroissement du contenu digestif entre la mise à l'herbe et la mi-été est vraisemblablement plus important du fait de la baisse plus rapide de la digestibilité de l'herbe.

La reconstitution de la masse corporelle à l'herbe est un phénomène très rapide si la mise à l'herbe se passe dans de bonnes conditions. La reprise de PVV mesurée sur les vaches fistulées est d'environ 1,5 kg/jour au cours des 18 premiers jours (moyenne de 3 années) puis se maintient à 0,5 kg/jour au cours des deux mois suivants. Si l'herbe est suffisante, elle est d'autant plus rapide que la perte hivernale a été forte : des vaches ayant perdu 40 et 100 kg au cours de l'hiver précédent et mises à l'herbe à des notes d'état respectivement de 3 et 1,5 sur 5 reprennent au cours des premières semaines moins de 1 kg/j et plus 2 kg/j sur la même parcelle (AGABRIEL et GIRAUD, non publié).

Dans de bonnes conditions de pâturage on considère souvent le poids de fin juillet, début août comme poids de référence d'une vache allaitante qui vêle en hiver, car la masse corporelle est pratiquement à sa valeur maximum.

La variation annuelle du contenu digestif total et de la masse corporelle d'une jeune vache charolaise a été décrite par PETIT (1988) à partir des propositions faites par JARRIGE en 1974, étayées et modifiées par les mesures récentes.

2. Composition des réserves corporelles

Nous n'envisagerons ici que la composition globale du corps vide en lipides, protéines, eau et minéraux ainsi que la composition globale de sa variation de poids (les réserves). Les méthodes d'estimation de la composition corporelle ont été développées dans ce numéro (CHILLIARD *et al*, 1987). Nous nous attacherons au cas des vaches de races à viande françaises. Les travaux étrangers se rapportent généralement à des vaches de plus petit format et dont l'adiposité demeure plus élevée dans les conditions normales d'élevage.

- Méthode des abattages

La composition corporelle de vaches adultes charolaises (CH) et limousines (LI) taries non gestantes, a été mesurée après abattages (ROBELIN *et al*, non publié). Cinq vaches des deux

TABLEAU 4

Contenu ruminal de vaches charolaises à différentes périodes de l'année

	Hivernage				Pâturage		
Régime alimentaire	foin limité (1) 10 kg - 1 kg cc		foin limité (2) 14,5 kg	9 kg	jeune herbe ou repousses (3) Juin	fin Juillet	fin Septembre
Stade physio.	Gestation 2 derniers mois	Lactation 3 premiers mois	Lactation 3ème mois	Lactation 3ème mois	Lactation 4ème mois	Lactation 6ème mois	Lactation 8ème mois
Nombre de vaches	4	4	4	5	21	21	21
Poids vif (kg)	734	645	628	602	612	639	682
Poids du contenu ruminal (kg)	100	112	99	85	76	83	90

INRA : Domaine de Laqueuille

Les vidages ont été réalisés à l'heure habituelle de pesée des vaches,vers 14 heures.
(1) Vidage effectué 5 h après le 1er repas représentant la moitié de la ration
(2) Vidage effectué 6 h après le 1er repas représentant la moitié de la ration
(3) Vidage effectué à 14 h. Le premier vidage a eu lieu 12 jours après la mise à l'herbe

races ont été abattues à chacun des trois états suivants (figure 1) : maigre (note de 1,0 à 1,5), satisfaisant à bon (note de 2,5 à 4,0), enfin très gras (4,5). Les deux derniers états ont été obtenus après une période d'engraissement de 65 et 120 jours pour les charolaises et de 80 et 125 jours pour les limousines. La différence dans les gains totaux de masse corporelle obtenus chez les charolaises (130 kg) et chez les limousines (106 kg) traduit la différence de format des vaches adultes des deux races.

La proportion de lipides dans la masse corporelle s'accroît de façon importante entre le lot le plus maigre et le plus gras, passant pour les charolaises de 7,4 à 21,0 % (+97 kg) et pour les limousines de 8,8 à 21,6 % (+81 kg). Par contre la quantité de protéines augmente peu, de 6 kg environ pour les charolaises et de 5 kg pour les limousines ; la part relative des protéines dans la masse corporelle totale diminue donc avec l'augmentation de l'état d'engraissement. Ces variations des quantités de protéines sont "associées" à des variations de quantités d'eau corporelle de 27 et 20 kg respectivement. Le rapport protéines/eau dans la masse corporelle supplémentaire est comparable à celui mesuré pour le corps entier (1/4).

L'abattage de vaches en l'état intermédiaire a permis de montrer que le gain de protéines est presque totalement acquis au cours de la première période d'engraissement (jusqu'à l'état 2,5 pour les charolaises) sans toutefois dépasser 6 % du gain de masse corporelle. Au cours de la deuxième période, le gain n'est composé que de lipides (figure 1). La reprise de poids est donc de plus en plus riche en énergie.

- Méthodes d'estimation "in vivo"

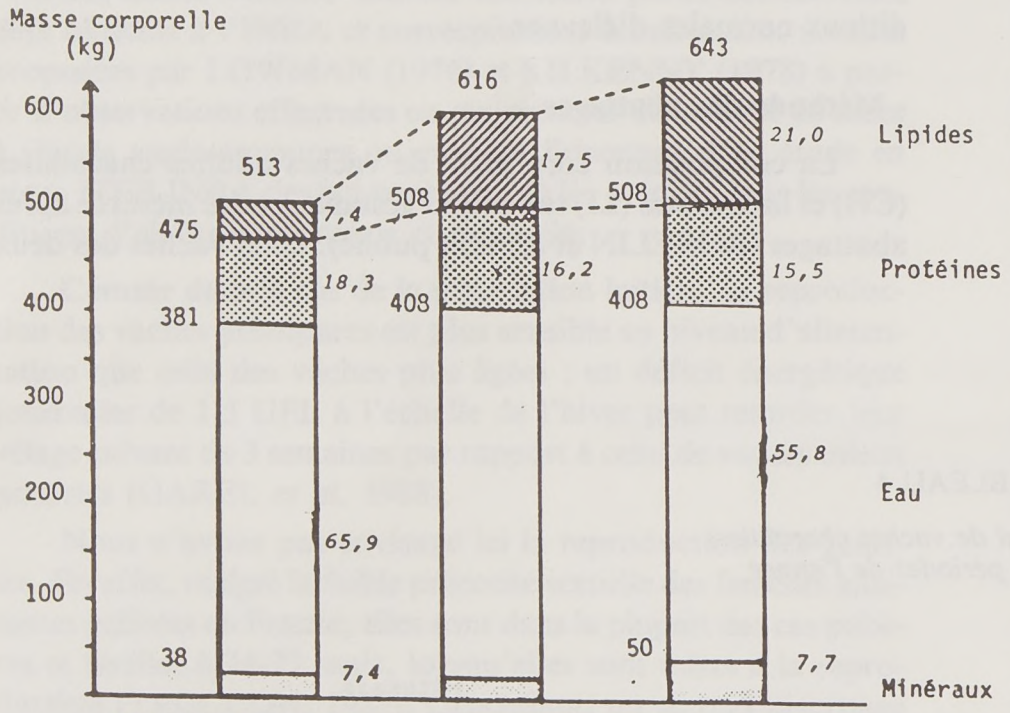
Nous avons aussi estimé la composition de la perte de poids de vaches charolaises entre le 1er et le 4e mois de la lactation ou entre le 8e mois de la gestation et le 3e mois de la lactation, à partir de la taille des adipocytes du tissu adipeux sous-cutané (tableau 5) (ROBELIN et AGABRIEL, 1986). La part des lipides dans la perte a été déterminée en comparant les variations du diamètre des adipocytes entre deux lots de vaches, sous-alimentées ou témoin (plutôt qu'intralot), afin d'éviter les effets possibles du stade physiologique.

1 - VACHES CHAROLAISES

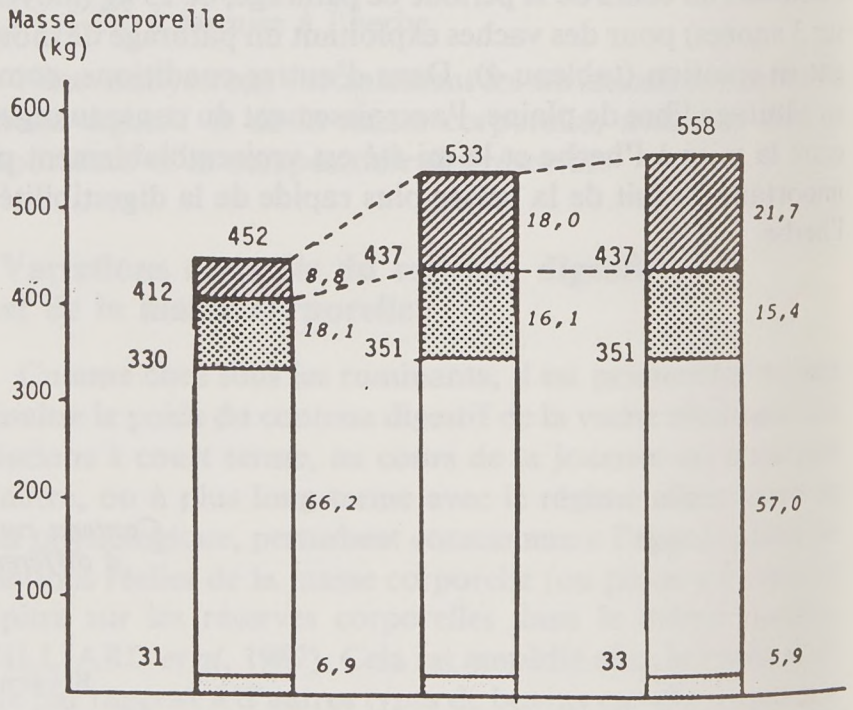
Note d'état	1,0	2,5	4,0
Diamètre des adipocytes (μ)	23	64	94

2 - VACHES LIMOUSINES

Note d'état	1,5	4,0	4,5
Diamètre des adipocytes (μ)	59	105	124



Robelin, Dumont, Bonnemaire, Roux, Agabriel et Malterre - Résultats non publiés -



Robelin, Malterre, Agabriel - Résultats non publiés -

Remarques : - on suppose que les 3 lots sont identiques au départ.

- Les vaches les plus maigres et les plus grasses ont été disséquées. Leur composition chimique a été estimée à partir de leur composition tissulaire.
Pour les vaches abattues dans un état intermédiaire, la composition chimique a été retenue à partir de la composition tissulaire de la 6ème côte et du poids des dépôts adipeux du 8ème quartier.

FIG. 1 : *Evolution de la composition corporelle de vaches de réforme à l'engrais.*

TABLEAU 5

Composition chimique de la masse corporelle mobilisée : résultats obtenus chez des vaches charolaises en production (estimation à partir de la taille des adipocytes)

Stade physiologique	8ème mois de gestation au 2ème mois de lactation (1)	8ème mois de gestation au 2ème mois de lactation (1)	1er au 4ème mois de lactation
Caractéristiques initiales :			
Poids vif (kg)	587	628	630
Note	1,4	2,7	2,9
Diamètre des adipocytes (u)	52	81	69
Durée (jours)	128	128	112
Perte de P.V.V. (kg)	35	28	44
Perte de lipides (kg) (2)	16	18	20
% de lipides dans la variation de poids	46	63	45

INRA : Domaine de Laqueuille

(1): En gestation 55 jours et en Lactation 73 jours
(2): Lipides estimés à partir des DAT (Dépôts adipeux totaux)(Geay et Robelin 1978) et DAT estimés à partir de la taille des adipocytes (Robelin et Agabriel 1986)

Dans ces conditions la proportion de lipides dans la perte de poids est supérieure à 40 % sans dépasser 65 %, et semble d'autant plus importante que l'état d'adiposité initial est plus élevé. La part des lipides dans la perte de poids mesurée par cette méthode "in vivo" est plus faible que la part des lipides contenus dans le gain de poids des vaches de réforme de même note. Ceci peut être attribué soit à la méthode qui est d'autant moins précise que les quantités de lipides mises en jeu sont faibles, soit aux conditions très différentes des expériences. La première concerne des vaches en production, nourries avec des fourrages de qualité moyenne et qui perdent moins de 0,4 kg par jour (par rapport au témoin). La seconde concerne des vaches taries recevant de l'ensilage de maïs et en gain de poids rapide (+1,2 kg/j).

Dans l'attente de nouveaux résultats d'abattage de vaches en production, nous admettrons cependant que le phénomène de mobilisation des réserves est équivalent à celui de reconstitution observé dans le cas des vaches de réforme à l'engrais ; la composition de la variation dépend d'abord de l'état d'engraissement initial.

Si on admet que la teneur en énergie des lipides et des protéines corporels est de 9,37 et 5,48 Mcal/kg (ROBELIN et GEAY, 1978) et que le rendement de transformation de l'énergie corporelle au profit de la production laitière est de 0,82 (CHILLIARD *et al*, 1987), on peut alors estimer la teneur en énergie et protéines du kg de masse corporelle mobilisé et son équivalent en UFL (tableau 6).

Des vaches grasses notées 4, ce qui correspond à l'état maximum observé dans les conditions habituelles d'élevage, ne mobiliseraient que des lipides jusqu'à l'état 3. Entre ces 2 notes, une variation de poids de 1 kg fournirait donc l'équivalent énergétique de 4,5 UFL ($9,37 \times 0,82/1,7$).

Puis de la note 3 à la note 2, ce qui est le plus fréquent, le kg de variation de masse corporelle (60 % de lipides, 8 % de protéines) équivaudrait alors à 3 UFL, si les rendements d'utilisation restent les mêmes. Il "fournirait" aussi l'équivalent de 120 g de PDI si les protéines corporelles mobilisées sont utilisées avec un rendement de 100 %.

En-dessous de la note d'état 2, la vache dispose de moins en moins de lipides mobilisables et la teneur en protéines de la masse perdue doit être de plus en plus élevée : l'équivalent éner-

TABLEAU 6

Valeurs proposées pour la composition chimique de la masse corporelle mobilisée selon l'état initial

Variations d'état mesurées par des variations :			
- de note	de 4 à 3	de 3 a 2	de 2 à 1
- de taille des adipocytes	100 à 75	75 à 55	55 à 30
Lipides %	100	60	20 ?
Protéines %	0	8	16 ?
Eau + minéraux %	0	32	64 ?
Energie (Mcal/kg) (1)	9,37	6,06	2,75 ?
Equivalent UFL	4,5	3,0	1,3 ?

* Ce tableau correspond à une perte de poids modérée et ne serait sans doute plus valable pour des niveaux de sous alimentation extrêmes.

(1) Energie/g de lipides = 9,37 kcal, /g de protéines = 5,48 kcal

gétique deviendrait faible (1,3 UFL/kg pour 20 % de lipides). A la note 0,5 sur 5, qui correspond au minimum observé dans les élevages, les lipides restant (environ 5 %) peuvent être considérés comme lipides de structure non mobilisables.

Pour la reconstitution des réserves nous avons supposé que les rendements de transformation de l'énergie métabolisable pour le dépôt de lipides (Kf) et de protéines (Kp) sont respectivement de 0,60 et 0,35 pour une ration à concentration énergétique relativement élevée (GEAY *et al*, 1987). Dans ces conditions les "valeurs énergétiques" du kg de gain de poids seraient les suivantes : de la note 1 à la note 2 : 1,9 UFL, de 2 à 3 : 3,7 UFL, enfin au-dessus de la note 3 : 5,4 UFL.

En définitive, la composition des réserves mobilisables des vaches de race à viande française est faible en lipides lorsqu'on la compare aux résultats obtenus sur d'autres types de vaches, de races laitières ou de races à viandes Anglo-saxonnes notamment (Hereford) (cf tableau 7 de l'article de CHILLIARD *et al*, 1987, dans ce numéro). Cela résulte surtout du fait que celles-ci sont souvent plus "grasses" et qu'elles peuvent alors mobiliser plus de lipides.

3. Relations entre les apports énergétiques et la variation de masse corporelle

Dans plusieurs essais réalisés à l'INRA nous avons rapproché les variations de masse corporelle et le niveau des apports énergétiques : des vaches charolaises ou salers pesant suivant les lots de 550 à 645 kg après le vêlage recevaient des rations à base de foin dans la plupart des cas ou à base de foin et d'ensilage d'herbe (4 cas). La valeur énergétique des fourrages a été estimée d'après leur digestibilité sur moutons nourris à volonté. Les résultats portent sur des lots de 6 à 15 vaches observés au minimum pendant 50 jours : 32 lots en lactation (73 jours en moyenne) et 10 en fin de gestation (68 jours en moyenne).

Les apports énergétiques ont été exprimés en UFL par kg de $P^{0,75}$ et par jour, après déduction des besoins de production laitière ou de gestation ; il s'agit donc des apports énergétiques disponibles pour l'entretien. On a supposé que les besoins par kg de lait étaient constamment égaux à 0,45 UFL (42 g de MG et 34 g de MP par kg). Les besoins de gestation ont été calculés à partir de l'estimation de l'énergie déposée dans l'utérus gravide (INRA, 1978) et d'un rendement de l'énergie métabolisable de 0,13 supposé constant.

Pour chacun des deux stades physiologiques, un ajustement curvilinéaire a permis d'estimer l'apport correspondant à une perte de poids donnée (figure 2). Cet ajustement a été préféré à un simple ajustement linéaire, bien qu'il ne fût pas statistiquement meilleur ; il est en effet apparu plus conforme à l'évolution indiquée par les points moyens représentatifs de quatre classes de variation de poids (figure 2).

- Estimation des apports nécessaires pour une variation de poids nulle.

Les apports énergétiques nécessaires pour une variation de poids nulle sont de 0,052 UFL/jour/kg de $P^{0,75}$ en lactation, et de 0,039 UFL en gestation, soit pour une vache de 600 kg de 6,25 et 4,70 UFL/jour respectivement. En lactation ils sont supérieurs d'environ 25 % aux besoins d'entretien déterminés sur des vaches laitières maintenues en chambre respiratoire (VAN ES, 1975), qui sont de 5 UFL pour 600 kg. Ces résultats confirment ceux obtenus par PETIT et MICOL (1981) sur races allaitantes françaises, ainsi que par différents auteurs américains sur d'autres races à viande (par exemple : HOHENBOKEN *et al*, 1972 ; NEVILLE, 1974). Ils pourraient provenir soit d'une mauvaise estimation des bilans énergétiques (valeur des fourrages, dépenses d'entretien), soit du fait que la perte de poids constatée pour un apport de 5 UFL ne correspondrait par réellement à une perte d'énergie.

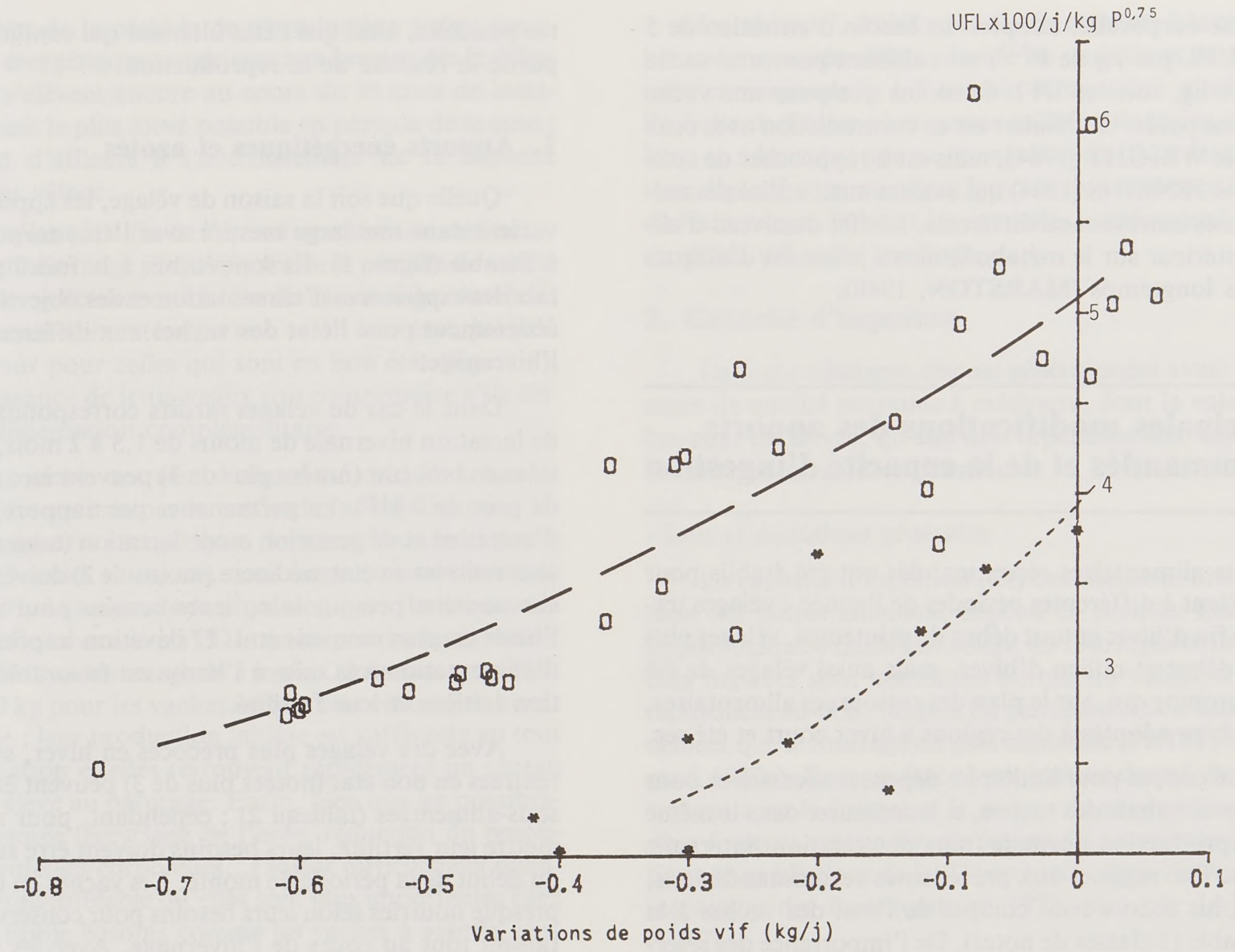
La valeur énergétique nette des fourrages utilisés a été estimée d'après la digestibilité de la M.O. obtenue sur moutons nourris à volonté, en utilisant les équations proposées par VERMOREL *et al* (1978). La digestibilité de ces fourrages, de qualité moyenne (d MO = 0,55 à 0,60), est généralement comparable chez les ovins et les bovins. Il est cependant possible que les rendements KI (EN/EM) correspondants soient plus faibles que ceux calculés. Il est en revanche peu problable que les dépenses des vaches allaitantes soient supérieures à celles que nous avons admises ; il est même au contraire maintenant bien établi que les bovins de race à viande ont des besoins d'entretien inférieurs à ceux des races laitières (BLAXTER et WAINMAN, 1966 ; Vermorel *et al*, 1976 ; LEMENAGER *et al*, 1980 ; TAYLOR *et al*, 1981 ; FERREL et JENKINS, 1984).

La perte de poids constatée pour un apport énergétique de 5 UFL pourrait ne pas correspondre à une perte réelle d'énergie. Pour les essais réalisés en lactation, qui ont pour la plupart débuté dès le vêlage, une partie de cette perte résulte de l'involution utérine, qui peut représenter 6 à 8 kg, soit 80 à 110 g par jour pour une durée expérimentale moyenne de 73 jours. Le reste de la perte pourrait provenir d'une réduction du volume d'eau corporelle (volume sanguin, eau de la masse corporelle délipidée) ; mais le phénomène inverse devrait alors être observé, au moins en partie, à la fin de la gestation, ce qui n'est pas le cas. De même, il est très peu probable qu'il s'agisse d'une diminution du poids du contenu digestif, au moins après vêlage, puisque, même avec une quantité de MS ingérée constante, le contenu ruminal a plutôt tendance à augmenter avec l'avancement de la lactation (paragraphe II.1).

Il s'agit là d'une série d'hypothèses qu'il conviendra de confirmer ou d'infirmer. En attendant, nous avons admis que les apports nécessaires pour maintenir l'équilibre énergétique corporel d'une vache de 600 kg restaient de 4,5 UFL lorsqu'elle est tarie et de 5,0 UFL lorsqu'elle est en lactation.

- Economie énergétique correspondant à la perte de masse corporelle.

Il est possible d'estimer à partir de la figure 2 l'"équivalent énergétique de la perte de poids", c'est-à-dire l'"économie réalisée sur les apports énergétiques" pour un kg de masse corporelle perdu. Cette économie est très importante : elle est de (6,25-5,13)/0,2 = 5,6 UFL entre la vache de 600 kg qui ne perd pas de poids en lactation et celle qui perd 0,2 kg, et de (6,25-2,74)/0,8 = 4,4 UFL pour la même vache qui perd 0,8 kg par jour ; elle reste proche de ce que fournirait la mobilisation d'un kg de lipides (4,5 UFL). Mais nous avons précédemment souligné qu'il est très probable que la teneur en lipides de la perte de poids ne dépasse pas 60 % pour une vache passant de la note 3 à la note 2, ce qui correspondrait à 3 UFL par kg. Dans ces conditions, nous devons admettre que les vaches sous-alimentées sont capables de réaliser des économies supérieures à ce que représente la mobilisation de leur énergie corporelle. Si cette économie supplémentaire est faite sur ses dépenses d'entretien, elle est de 8 % chez les vaches qui perdent 0,2 kg par jour ($= (6,25 - 5,13 - 0,2 \times 3,0) / 6,25$), et de 18 % chez celles qui perdent 0,8 kg par jour ($= (6,25 - 2,74 - 0,8 \times 3,0) / 6,25$).



Remarques : - Les variations moyennes journalières de masse corporelle ont pu être estimées à partir de celles du poids vif. On a supposé que le poids du contenu digestif ne variait pas entre le début et la fin des essais du fait que les vaches recevaient en permanence la même quantité de MS. Quand ce n'était pas le cas on a supposé que le poids variait à raison de 6 kg par kg de MS ingérée en plus ou en moins.

- Régression curvilinéaire entre les apports énergétiques diminués des dépenses de production (Y) exprimés en UFL x 100/j/kg P0.75 et la variation de poids (X) en kg/j
  - en lactation : $Y = 5,16 + 4,99\ X + 1,78\ X^2 \pm 0,50$
  - en gestation : $Y = 3,90 + 6,92\ X + 6,13\ X^2 \pm 0,49$

FIG. 2 : *Relation entre la variation de poids et les apports énergétiques diminués des dépenses de production (O : vaches en lactation, n = 32. * : vaches en gestation, n = 10.)*

On a également calculé entre les lots homologues de chaque essai le rapport "variation de l'apport énergétique / variation de la perte de poids". Ce dernier mode de calcul a l'avantage d'éviter les erreurs dues au regroupement d'essais différents (1). La quantité moyenne d'énergie alimentaire épargnée par kg de poids supplémentaire perdu par les vaches les moins bien nourries est alors de 6,1 (± 1,6) UFL en lactation. Elle est encore supérieure aux valeurs précédemment trouvées. Comme ces vaches perdent en moyenne 0,29 kg de plus que leurs homologues par jour, elles réaliseraient par rapport à ces dernières une économie journalière de 0,90 UFL (= 0,29 * (6,1-3,0)), si on admet que cette perte contient 60 % de lipides.

(1) Note : 24 données sur les 32 disponibles correspondent à 11 essais où deux niveaux d'apports énergétiques au moins ont été effectivement comparés. Seuls deux essais en lactation et un essai en gestation comportaient une comparaison de trois niveaux d'apports, et n'ont pas permis à eux seuls de donner l'évolution de la variation de poids selon le niveau de ces apports.

Les mêmes calculs peuvent être réalisés avec les vaches gestantes, mais le nombre et la dispersion des données ne permettent pas la même précision. Il semble cependant que l'économie réalisée sur les apports énergétiques pour un kg de masse corporelle mobilisé soit de 7,4 UFL lorsqu'elle est calculée par la première méthode (figure 2), et de 8,5 UFL par la seconde méthode. Elle est bien supérieure à celle calculée pour la lactation ; les possibilités de réduction des dépenses énergétiques apparaissent plus importantes.

- Effets de l'état d'engraissement.

Le niveau des apports énergétiques nécessaires pour éviter toute perte de poids hivernale varie avec l'état des vaches, comme l'ont montré les résultats obtenus sur 80 vaches charolaises et salers, qui avaient été appariées sur leur format et leur poids au début du mois d'août, et amenées dans des états d'engraissement différents (1,5 et 3,0) à la rentrée à l'étable. Elles ont reçu 1,5 UFL en plus ou en moins de leurs besoins durant 120 jours d'hivernage de part et d'autre du vêlage. Pour éviter toute

perte de masse corporelle, adopter un besoin d'entretien de 5 UFL (0,041 UFL par kg de $P^{0,75}$) est suffisant pour une vache maigre de 600 kg, soit 1,5 UFL de moins que pour une vache grasse de même poids. Ce résultat est en contradiction avec ceux de RUSSEL et WRIGHT (1984), mais est à rapprocher de ceux de FERREL et JENKINS (1984) qui avaient aussi utilisé des animaux aux passés nutritionnels différents. L'effet du niveau d'alimentation antérieur sur le métabolisme au jeûne est d'ailleurs connu depuis longtemps (MARSTON, 1948).

III. Principales modifications des apports recommandés et de la capacité d'ingestion

Les apports alimentaires recommandés ont été établis pour des vaches vêlant à différentes périodes de l'année : vêlages traditionnels de fin d'hiver et tout début de printemps, vêlages plus précoces de début et milieu d'hiver, mais aussi vêlages de fin d'été ou d'automne qui, sur le plan des ressources alimentaires, peuvent être bien adaptés à des régions à hiver court et été sec.

Ils ont été conçus pour limiter les dépenses nécessaires pour l'alimentation hivernale des vaches, et leur assurer dans le même temps une reproduction normale (taux de gestation, intervalle entre vêlages. Par rapport aux précédentes recommandations, nous avons plus encore tenu compte de l'état des vaches à la rentrée à l'étable (3 classes de notes). De l'importance des réserves corporelles disponibles dépendent les économies alimentaires possibles, ainsi que l'état ultérieur qui conditionne en grande partie la réussite de la reproduction.

1. Apports énergétiques et azotés

Quelle que soit la saison de vêlage, les apports énergétiques varient dans une large mesure avec l'état corporel à la rentrée à l'étable (figure 3). Ils sont établis à la fois à partir des résultats des expériences d'alimentation et des objectifs proposés précédemment pour l'état des vaches aux différentes périodes de l'hivernage.

Dans le cas de vêlages tardifs correspondant à une durée de lactation hivernale de moins de 1,5 à 2 mois, les vaches rentrées en bon état (notées plus de 3) peuvent être sous-alimentées de près de 2 UFL en permanence par rapport à leurs besoins d'entretien et de gestation ou de lactation (tableau 1). Celles qui sont rentrées en état médiocre (moins de 2) doivent être en revanche nourries presque selon leurs besoins pour ne pas terminer l'hiver en plus mauvais état. L'élévation importante du niveau d'alimentation à la mise à l'herbe est favorable à leur production laitière et leur fertilité.

Avec des vêlages plus précoces en hiver, seules les vaches rentrées en bon état (notées plus de 3) peuvent être modérément sous-alimentées (tableau 2) ; cependant, pour ne pas compromettre leur fertilité, leurs besoins doivent être satisfaits à partir du début de la période de monte. Les vaches en état moyen sont presque nourries selon leurs besoins pour conserver un état satisfaisant tout au cours de l'hivernage. Avec les vaches rentrées en mauvais état, l'objectif de note de 2,5 ne peut pas être atteint

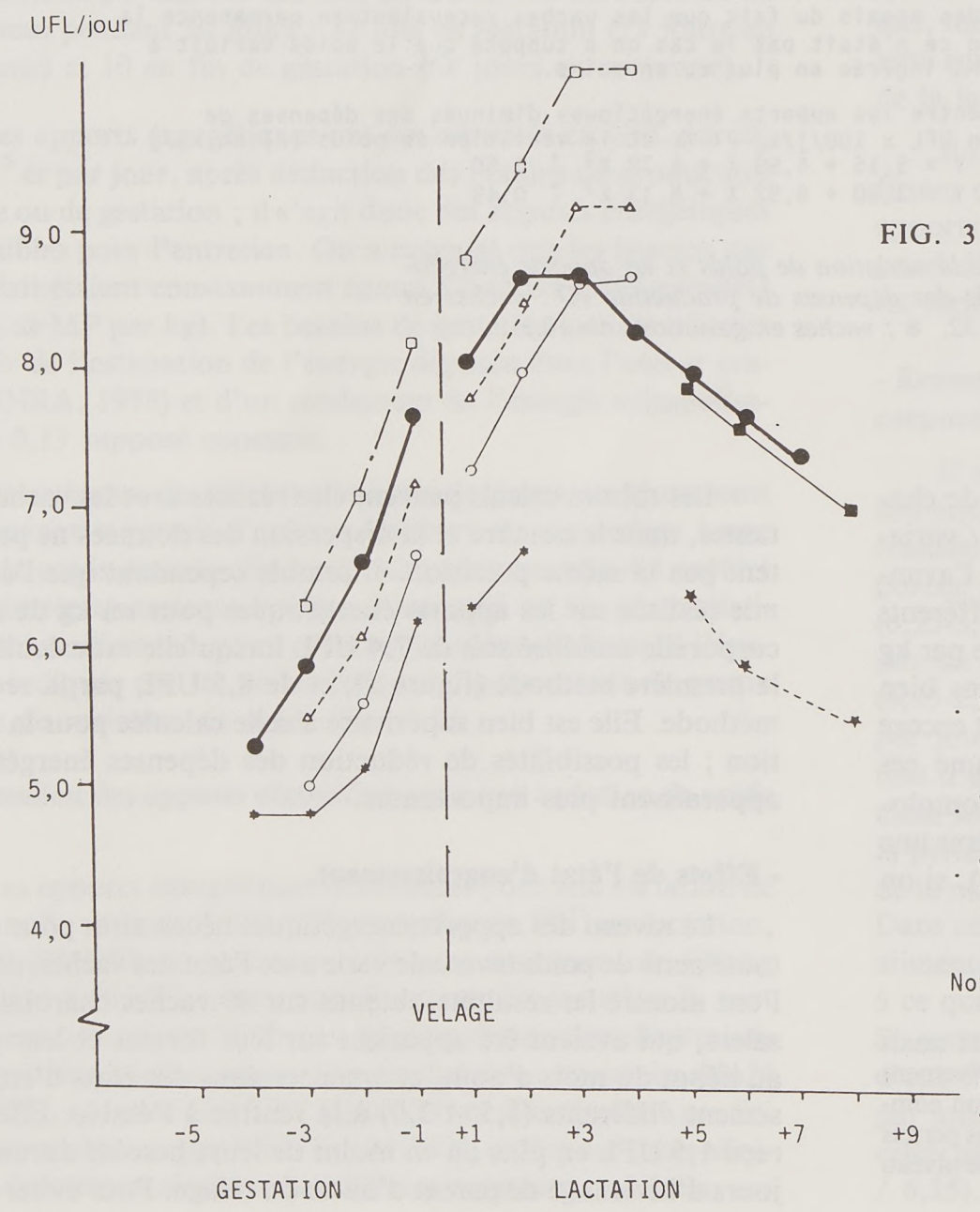


FIG. 3 : *Apports énergétiques recommandés dans différentes situations (vache de 650 kg produisant un veau de 45 kg puis 7 kg de lait par jour).*

aisément au début de la période de reproduction ; c'est pourquoi les apports énergétiques, supérieurs aux besoins dès le début de l'hivernage, s'élèvent encore au cours du 3e mois de lactation pour qu'il soit le plus élevé possible en période de monte ; cela correspond d'ailleurs à l'accroissement de la capacité d'ingestion après vêlage.

Les vaches vêlant à la fin de l'été ou en automne sont nourries du début de l'hivernage jusqu'à la fin de la période de monte comme le sont les précédentes à la fin de l'hivernage. Au-delà, les vaches sont sous-alimentées ou non selon leur état, jusqu'à -1,5 UFL par jour pour celles qui sont en bon état (figure 3), sans que la croissance de leurs veaux soit compromise s'ils disposent d'une alimentation complémentaire.

Les apports azotés ont tout d'abord été calculés selon les besoins stricts (déterminés par la méthode factorielle) pour les vaches dont les apports énergétiques devaient être identiques à leurs dépenses. Dans les autres cas, nous avons conservé le même rapport PDI/UFL à chaque stade physiologique. Il a été ensuite vérifié que le déficit cumulé en PDI restait proche ou inférieur à 10 kg à l'échelle d'un hivernage de 5 mois. Cependant, ce déficit calculé est de 20 kg pour les vaches en bon état vêlant peu avant la mise à l'herbe ; leur production laitière est suffisante au tout début de la lactation et elles retrouvent rapidement un niveau d'alimentation élevé au pâturage. Enfin, bien que les possibilités d'épargne azotée (recyclage de l'urée, réduction du renouvellement des protéines corporelles...) soient difficilement quantifiables, il est vraisemblable qu'elles sont plus importantes chez des animaux à faible besoins comme les vaches à viande, surtout pendant la période sèche.

2. Variations tolérées de poids vif

Les variations tolérées de masse corporelle ont été établies à partir des relations entre l'énergie disponible pour l'entretien et la perte de poids (figure 2), pour les vaches en bon état. Si elles sont en mauvais état, la même variation journalière de masse corporelle est obtenue avec 1,5 UFL de moins. Pour les états moyens, on a choisi la valeur intermédiaire. Ces modifications de masse corporelle ont permis de valider des objectifs d'états proposés, en supposant que 40 kg correspondent dans tous les cas à un point de note d'état (CHILLIARD *et al*, 1987).

Le tableau 7, établi pour différents états à la rentrée à l'étable et époques de vêlage, donne les variations de masse corporelle correspondant à l'énergie alimentaire ainsi épargnée à l'échelle de l'hiver. Les pertes tolérées de poids vif en découlent, en admettant une augmentation de 10 kg du poids du contenu digestif et en calculant le poids du contenu utérin au début de l'hivernage. Suivant les cas, elles représentent de 0 à 11 % du poids vif après le vêlage.

3. Capacité d'ingestion

La vache allaitante dispose généralement avant tout de fourrages de qualité moyenne à médiocre, dont la valeur d'encombrement est élevée, qu'elle doit cependant être capable de consommer en quantité suffisante.

- Lois et équations générales

La capacité d'ingestion (CI) des vaches allaitantes, comme celle des autres animaux, dépend en premier lieu de son état physiologique : quels que soient les fourrages offerts, les quantités ingérées sont minimales autour du vêlage et augmentent rapidement au-delà, jusqu'à un plateau atteint d'autant plus rapidement que le fourrage est plus ingestible (PETIT, 1978 ; PETIT *et al*, 1987a). Pour un état physiologique donné, la CI augmente surtout avec le format et le niveau de production laitière ; ces deux facteurs prépondérants étaient déjà exprimés dans les équations de prédictions de la CI proposées dans l'ouvrage sur l'Alimentation des Ruminants en 1978, puis par JARRIGE *et al* (1979).

Ces équations, établies à partir de quantités ingérées de foins dont la valeur d'encombrement moyenne (1,22 UEB par kg de MS) est la même qu'en 1978, restent valables :

- au 8e mois de la gestation :

$CI = 0{,}090\ PV^{0,75} + 1{,}46\ (\pm 1{,}06)$

- au 2e mois de la lactation :

$CI = 0{,}083\ PV^{0,75} + 0{,}244\ PL + 2{,}52\ (\pm 1{,}18)$

où PV (kg) est le poids vif après vêlage et PL (kg) la production laitière journalière. La CI est exprimée en UEB plutôt qu'en UEL ; c'est en effet l'UEB qui reflète le mieux l'effet de la digestibilité des foins sur les quantités volontairement ingérées par les vaches allaitantes (PETIT *et al*, 1987a).

TABLEAU 7

Composition de la perte hivernale de poids vif en fonction de la date de vêlage et de l'état à la rentrée à l'étable (exemple d'une vache de 650 kg - Durée de l'hiver 150 jours)

-Etat initial à la rentrée à l'étable-	Vêlages précoces: vêlage au moins 2 mois avant la mise à l'herbe. Mise à la reproduction à l'étable à une note comprise entre 2,0 et 2,5 sur 5					Vêlages tardifs: vêlages au plus 1,5 mois avant la mise à l'herbe. Mise à la reproduction à l'herbe à une note comprise entre 1,5 et 2,0 sur 5				
	Variations de masse corporelle (kg)	Variations de contenu(1) (kg)	Variations de foetus(2) (kg)	Variations de poids vif (kg)	Energie Alimentaire Epargnée(4) (UFL)	Variations de masse corporelle (kg)	Variations de contenu(1) (kg)	Variations de foetus(3) (kg)	Variations de poids vif (kg)	Energie Alimentaire Epargnée(4) (UFL)
Bon > 3,5	-37	+ 10	- 40	-67	245	-44	+ 10	- 20	-54	305
Moyen 2,0-3,0	-15	+ 10	- 40	-45	100	-23	+ 10	- 20	-33	160
Mauvais < 2,0	+20	+ 10	- 40	-10	-105	0	+ 10	- 20	-10	0

(1) correspond à l'augmentation de contenu digestif liée au stade physiologique
(2) correspond à un foetus de 17 kg à 7 mois de gestation et 23 kg de liquides enveloppes et utérus
(3) correspond à un foetus de 5 kg à 4 mois de gestation et 15 kg de liquides enveloppes et utérus
(4) par rapport à une vache à poids constant, qui recevrait en lactation 1,35 UFL/jour de plus que les besoins théoriques

En gestation, la relation précédente, testée sur 6 autres résultats moyens (de 7 à 15 vaches), a permis de prévoir la quantité de foin ingérée de manière très satisfaisante ($r = 0,81$; $P < 0,05$), avec cependant un coefficient de variation de 10 %, correspondant à 1,1 kg de MS environ. De même, la relation proposée pour le 2e mois de la lactation donne globalement satisfaction, bien que les importances relatives du poids vif, de la production laitière et du terme constant puissent varier dans une large mesure (PETIT *et al*, 1987a) ; en particulier, selon les essais, la variation de la CI par kg de lait produit en plus ou en moins, calculée entre vaches, va de 0,24 à 0,33 UEB (0,20 à 0,31 kg de MS).

Cependant, la prévision des quantités ingérées à partir du poids est tout aussi précise lorsqu'elles sont rapportées au poids vif avec un exposant 1,0 (PETIT *et al*, 1987a, pour des vaches taries gestantes) ou un exposant 0,9 (AGABRIEL *et al*, 1987, pour des génisses et vaches taries) au lieu du poids métabolique. Nous avons donc exprimé les relations précédentes, en utilisant le poids vif, et des coefficients simplifiés identiques pour la gestation et la lactation :

- 8e mois de la gestation : $CI = 1,5\ (PV/100) + 3,2$ (1)
- 2e mois de la lactation : $CI = 1,5\ (PV/100) + 0,3\ PL + 3,2$ (2)

Ces relations sont utilisables pour des poids vifs de 450 à 750 kg et des productions laitières journalières de 4 à 10 kg.

La variation de la CI autour du vêlage a été calculée à partir des évolutions des quantités ingérées de différents fourrages secs décrite par PETIT *et al* (1987a). Elle correspond à la valeur moyenne des UEB "ingérées" à chaque stade. Elle ne peut donc pas refléter les différences observées dans la vitesse d'accroissement des quantités ingérées après vêlage, d'autant plus rapide que les fourrages sont plus ingestibles. Au-delà du 3e mois de lactation qui correspond en moyenne à la CI maximale, nous avons admis que la CI diminuait légèrement avec l'avancement de la lactation, au rythme de la diminution de la production laitière, en adoptant le coefficient de 0,3 UEB par kg de lait de la relation 2.

- Ajustements à différents types d'animaux

Pour des vaches de même format, leur CI dépend de leur état d'embonpoint ; son effet dépressif est bien connu chez les animaux en cours d'engraissement et a déjà été observé chez les vaches laitières taries ou en lactation (BINES *et al*, 1969, GARNSWORTHY et TOPPS, 1982). Les valeurs précédentes avaient été établies avec des vaches dans un état moyen, proche de 2,5 sur 5, et doivent donc être ajustées en fonction de l'état. Ainsi des vaches charolaises adultes, pesant 680 kg à la mi-été, ont été amenées dans un état noté 3,2 (équivalent à 720 kg après vêlage) ou 1,6 (équivalent à 650 kg) à la rentrée à l'étable. Des semaines -8 à -3 avant la mise bas, la différence de quantité de foin ingérée entre les deux types de vaches était de 16,1 % par rapport à la moyenne, soit l'équivalent de 2,2 UEB pour des vaches de ce format (680 kg à la note 2,5). Rapporté au 100 kg de poids vif, la CI varie donc de $(2,2/6,8) / 1,6 = 0,20$ UEB par point de note, valeur supposée constante quel que soit l'état de part et d'autre de la note 2,5. De même, les quantités de foins ingérées par des vaches Salers au cours du 2e mois de la lactation ont différé de 10,4 % ($P < 0,05$) selon qu'elles étaient en état satisfaisant (2,7 sur 5) ou en mauvais état (1,1 sur 5), soit 0,15 UEB par point d'état et par 100 kg de poids vif. Nous avons admis que cette valeur restait la même quel que soit le stade de lactation, bien qu'il soit probable que les quantités ingérées par les vaches maigres augmentent jusqu'à un stade plus avancé.

La capacité d'ingestion des primipares est inférieure de 15 à 20 % à celle des adultes, aussi bien à la fin de la gestation qu'au début de la lactation (D'HOUR et PETIT, non publié). Cette différence n'est plus que de 10 % par rapport à des multipares de même poids, de même niveau de production et dans un état comparable. Cela est en accord avec les valeurs observées sur vaches laitières (FAVERDIN *et al*, 1987) et sur génisses en croissance de même poids et de même race (TROCCON, 1987). Cependant, la CI des primipares, limitée par le développement progressif des compartiments digestifs, augmente lentement après vêlage, et s'accroît tout au cours de la lactation. Ainsi des primipares salers ayant vêlé au début du mois de septembre ont consommé au cours du 3e mois de la lactation (560 kg de poids vif et 6 kg de lait/jour) 12,4 kg de MS d'une ration mixte de foin et d'ensilage d'herbe de très bonnes qualités, et au 8e mois (610 kg et 4 kg de lait) 14,2 kg de MS de la même ration. Leur CI est passée de 13,1 à 15 UEB ! Nous avons admis que 8 à 9 mois après le premier vêlage, elle devait être au plus identique à celle d'une vache multipare de même poids en 2e mois de lactation (7,5 kg de lait par jour), soit 14,6 UEB. Elle reste cependant supérieure de 1 UEB environ à la CI de cette même multipare à la fin de sa lactation ; cela pourrait être attribué aux besoins de croissance des toute jeunes vaches, mais demanderait à être confirmé.

Enfin, la CI des vaches allaitantes varie avec leur race. A la suite des résultats obtenus par AGABRIEL *et al* (1987) simultanément sur des génisses et vaches taries Pie-noires, Salers et Limousines, des données regroupées par PETIT *et al* (1987a), et des comparaisons réalisées par D'Hour et PETIT (non publié), nous avons adopté provisoirement les valeurs suivantes, exprimées par rapport à la CI des vaches charolaises : limousines -8 à -10 % ; vaches de races laitières utilisées comme allaitantes : $+10$ à $+12$ %. Ces valeurs s'entendent pour un même poids, un même état et une même production laitière. En première approximation, la CI des vaches des races rustiques est, toutes choses égales par ailleurs, proche de celle des vaches charolaises. La CI des autres types de vaches utilisées en France mériterait d'être précisée.

Conclusion

Les recommandations pour l'alimentation hivernale du troupeau de vaches allaitantes cherchent à réduire les dépenses alimentaires, tout en restant compatibles avec une production des veaux normale et régulière. Elles mettent l'accent sur l'importance de l'état des vaches à la rentrée à l'étable, soulignant ainsi que le troupeau allaitant est avant tout consommateur d'herbe verte.

Ces recommandations comportent une certaine marge de sécurité, en partie parce que l'appréciation de l'état corporel reste délicate, ainsi parfois que celle de la valeur alimentaire des fourrages disponibles. Elle concernent cependant des animaux en bonne santé et ne tolèrent pas de déséquilibres de la ration pour les apports azotés, minéraux et vitaminiques.

Le niveau d'alimentation constaté dans certains élevages peut être bien inférieur à celui qui est proposé ; la sanction possible est rarement immédiate, les risques encourus concernant surtout la reproduction du troupeau. Mais il est heureusement possible de compenser au moins en partie les erreurs alimentaires ou les aléas annuels en modifiant partiellement la conduite

du troupeau : par exemple en complémentant les veaux pour pallier le déficit d'herbe ou de lait, en les sevrant plus tôt pour améliorer l'état des vaches à la rentrée à l'étable, ou en augmentant la vitesse de renouvellement du troupeau avec des génisses vêlant tôt pour maintenir la date moyenne de vêlage.

Références bibliographiques

AGABRIEL J., D'HOUR P., PETIT M., 1987. Influence de l'âge et de la race sur la capacité d'ingestion des femelles bovines. 2e Journées de Recherches sur la Nutrition des Herbivores, Paris. Reprod. Nutr. Dévelop., 27 (1B), 21-22.

AGABRIEL J., GIRAUD J.M., 1988. Contenu ruminal de la vache charolaise : influence d'une brusque variation du niveau alimentaire. 3e Journées de Recherche sur la Nutrition des Herbivores, Paris. Reprod. Nutr. Dévelop., 28 (1), 109-110.

AGABRIEL J., GIRAUD J.M., PETIT M., 1986. Détermination et utilisation de la note d'état d'engraissement en élevage allaitant. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 66, 43-50.

BAKER R.D., LEDU Y.L.P., BARKER J.M., 1982. The influence of winter nutrition, grazing system and stocking rate on the performance of spring-calving Hereford × Friesian cows and their calves. Grazing system and stocking rate. Anim. Prod., 34, 225-237.

BINES J.A., SUZUKI S., BALCH C.C., 1969. The quantitative significance of long term regulation of food intake in the cow. Brit. J. Nutr., 23, 695-704.

BLAXTER K.L., WAINMAN F.W., 1966. The fasting metabolism of cattle. Br. J. Nutr., 20, 103-111.

CHILLIARD Y., REMOND B., AGABRIEL J., ROBELIN J., VERITE R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bull. techn. CRZV Theix INRA, 70.

DOREAU M, LOMRI A.J., ADINGRA K., 1986. Influence d'un faible niveau d'ingestion sur la digestion et le comportement alimentaire chez la vache recevant un régime très digestible. Reprod. Nutr. Dévelop., 26(1B), 329-330.

ES A.J.H. Van, 1975. Feed evaluation for dairy cows. Livest. Prod. Sci., 2, 95-107.

FAVERDIN Ph., HODEN A., COULON J.B., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches laitières. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 70.

FERREL C.L., JENKINS T.G., 1984. A note on energy requirements for maintenance of lean and fat Angus, Hereford and Simmental cows. Anim. Prod., 39, 305-309.

GAREL J.P., PETIT M., AGABRIEL J., 1988. Alimentation hivernale des vaches allaitantes en zone de montagne. INRA. Prod. Anim., 1 (sous presse).

GARNSWORTHY P.C., TOPPS J.H., 1982. The effect of body condition of dairy cows at calving on their food intake and performance when given complete diets. Anim. Prod., 36, 113-119.

GARRET W.N., 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. J. Anim. Sci., 32, 451-456.

GEAY Y., MICOL D., ROBELIN J., BERGE Ph., MALTERRE C., 1987. Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 70.

GUNN R.G., 1983. The influence of nutrition on the reproductive performance of ewes. In : "Sheep Production". Ed. W. Haresign, pp. 99-110. London, Butterworths.

HARESIGN W., 1984. Undefeeding and reproduction : physiological mechanisms. In "Reproduction des ruminants en zone tropicale, Point-à-Pitre (F.W.I.), 8-10 juin 1983". Ed. INRA Publ. (Les Colloques de l'INRA, n° 20.

HODGSON J., PEART J.N., RUSSEL A.J.F., WHITELAW A., Mac DONALD A.J., 1980. The influnce of nutrition in early lactation on the performance of spring-calving suckler cows and their calves. Anim. Prod., 30, 315-325.

HOHENBOKEN W.D., HAUSER E.R., CHAPMAN A.B., CUNDIFF L.V., 1972. Partitioning lactation TDN consumption in Hereford cows between maintenance, gain and milk production. J. Anim. Sci, 34, 152-160.

HUGHES J.H., STEPHENS D.F., LUSBY K.S., POPE L.S., WITHEMAN J.V., SMITHSON L.J., TOTUSEK R., 1978. Long-term effects of winter supplement on the productivity of range cows. J. Anim. Sci., 47, 816-827.

JARRIGE R., 1974. Bases physiologiques de l'alimentation des vaches allaitantes. In "L'exploitation des troupeaux de vaches allaitantes", Suppl. Bull. Techn. CRZV Theix INRA, N° spécial, 323-345.

JARRIGE R., DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., HODEN A., JOURNET M., BERANGER C., GEAY Y., MALTERRE C., PETIT M., ROBELIN J., 1979. Le système des unités d'encombrement pour les bovins. Bull. Techn. CRZV Theix INRA, 38, 57-79.

KILKENNY J.B., 1978. Reproductive performance of beef cows. World Rev. Anim. Prod., 14 (3), 65-74.

LAMOND D.R., 1970. The effect of undernutrition on reproduction in the cow. Anim. Breed. Abstr., 38, 359-372.

LEBLANC F., PETIT M., GAREL J.P., 1983. Le troupeau de vaches allaitantes au pâturage : influence du chargement à différentes périodes. Bull. Techn. CRZV Theix INRA, 51, 57-62.

LEMENAGER R.P., NELSON L.A., HENDRIX K.S., 1980. Influence of cow size and breed type on energy requirements. J. Anim. Sci., 51, 566-576.

LIENARD G., PETIT M., 1987. Suckled cows as alternative to dairy cows : How to increase their value. In "Consequences of milk quotas and alternative animal enterprises, EEC Seminar, Dublin, 1986". J.F. O'GRADY Ed., Commission of the European Communities, Agriculture series. L-2985 Luxembourg.

LOWMAN B.G., SCOTT N.A., SOMMERVILLE S.H., 1976. Condition scoring of cattle (Revised edition). East of Scotland College of Agriculture, Bull. N° 6.

MARSTON H.R., 1948., cité par MITCHELL H.H., 1962. In "Comparative Nutrition of Man and Domestic animals". Academic Press Inc. (London) LTD., Berkeley Square House. Berkeley Square, London, W.1.

NEVILLE W.E. Jr, 1974. Comparison of energy requirements of nonlactating and lactating Hereford cows and estimates of energetic efficiency of milk production. J. Anim. Sci., 38, 681-686.

PELOT J., DE FONTAUBERT Y., CHUPIN D., TERQUI M., 1984. Management of reproduction in cattle : ovarian activity, hormonal treatments and fertility. In "The reproduction potantial of cattle and sheep. Rohovot (Israel), 21-23 Febr. 1984". Ed. INRA Publ. (Les Colloques de l'INRA, n° 27).

PETIT M., 1978. Vaches nourrices. In "Alimentation des Ruminants", Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr) 78000 Versailles, pp. 377-402.

PETIT M., 1979. Effet du niveau d'alimentation à la fin de la gestation sur le poids à la naissance des veaux et leur devenir. Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys., 19, 277-287.

PETIT M., 1988. Alimentation des vaches allaitantes. In R. Jarrige éd. "L'alimentation des bovins, ovins et caprins", INRA Publ. Paris.

PETIT M., GAREL J.P., 1981. The effect of underfeeding in early lactation on the performances of suckled cows. In "Report on suckler cow workers meeting, Dunsany, Ireland, 1981". Noble and MacLeod ed., Adas.

PETIT M., GAREL J.P., GRENET N., 1987(a). Utilisation des foins et pailles par le troupeau de vaches allaitantes. In C. Demarquilly Ed., Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation. INRA, Paris, pp 361-389.

PETIT M., GAREL J.P., MICOL D., 1987(b). Conduite du troupeau de vaches allaitantes au pâturage : quelques éléments de réfléxion. In D. Micol Ed., Forum Fourrages Auvergne 86.

PETIT M., MICOL D., 1981. Evaluation of energy requirements of beef cows during early lactation. Livest. Prod. Sci., 8, 139-153.

PINNEY D.O., STEPHENS D.F., POPE L.S., 1972. Lifetime effects of winter supplemental feed level and age at first parturition on range beef cows. J. Anim. Sci., 34, 1067-1074.

ROBELIN J., AGABRIEL J., 1986. Estimation de l'état d'engraissement des bovins vivants à partir de la taille des cellules adipeuses. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 66, 37-41.

ROBELIN J., GEAY Y., 1978. Estimation de la composition chimique du corps entier à partir du poids des dépôts adipeux. Ann. Zootech., 27, 159-167.

RUSSEL A.J.F., WRIGHT I.A., 1983. Factors affecting maintenance requirements of beef cows. Anim. Prod., 37, 329-334.

TAYLOR St C.S., TURNER H.G., YOUNG R.A., 1981. Genetic control of equilibrium maintenance efficiency in cattle. Anim. Prod., 33, 179-194.

TROCCON J.L., 1987. Recommandations alimentaires pour les veaux et génisses d'élevage. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 70.

VERMOREL M., 1978. Energie. In "Alimentation des Ruminants". Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr), 78000 Versailles, pp. 47-88.

VERMOREL M., BOUVIER C., GEAY Y., 1976. The effect of the genotype (normal and double muscle Charolais and Friesian) on energy utilisation by growing cattle at 2 and 16 months of age. In : Proc. 7th Symp. Energy Metabolism of Farm Animals, Vichy, 217-220. Ed. M. Vermorel, E.A.A.P. Pub n° 19.

WILTBANK J.N., ROWDEN W.W., INGALLS J.E., ZIMMERMAN D.R., 1964. Influence of postpartum energy level on reproductive performance of Hereford cows restricted in energy intake prior to calving. J. Anim. Sci., 23, 1049 1053.

YOUDAN P.G., KING J.O., 1977. The effect of body weight changes on fertility during the post-partum period in the dairy cow. Br. Vet. J., 133, 635-641.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 153-166

Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes

J. AGABRIEL et M. PETIT.

INRA - CRZV Theix, Station des Productions Bovines et Chevalines, 63122 Ceyrat.

Les connaissances acquises au cours de la dernière décennie sur les besoins nutritionnels de la vache allaitante et sur les variations de sa productivité selon le niveau des apports alimentaires ont permis d'envisager une amélioration significative des recommandations pour l'alimentation hivernale. Ces recommandations ont été proposées dans le livre sur l'Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins (PETIT, 1988). Nous envisageons ici d'en préciser les fondements, tout en indiquant les "flous" qui subsistent dans des domaines importants.

Les apports alimentaires recommandés pour les vaches allaitantes ne cherchent pas à satisfaire en permanence leurs besoins, mais plutôt à minimiser les dépenses aux époques de faibles disponibilités fourragères, c'est-à-dire sous nos climants durant l'hivernage. C'est ainsi que la conduite traditionnelle du troupeau fait appel à un amaigrissement des vaches durant l'hiver compensé par une récupération de leur poids et de leur état corporel au pâturage. Les recommandations alimentaires hivernales visent à préciser les limites de la réduction des apports en deça desquelles la production du troupeau serait compromise.

Nous rappelerons tout d'abord les conséquences possibles d'une sous-alimentation de la vache allaitante à différentes périodes du cycle gestation-lactation, en utilisant préférentiellement les résultats d'expériences au cours desquelles des niveaux d'alimentation différents ont été appliqués de manière répétée aux mêmes vaches durant plusieurs hivers successifs ; ces expériences de longue durée sont en effet le garant des recommandations proposées.

Puis nous tenterons de faire le point sur le rôle tampon des réserves corporelles, son importance, ses limites et sur les économies mises en jeu au cours des périodes de sous-alimentation, économies dont les mécanismes restent pour la plupart à élucider. Nous utiliserons fréquemment dans cet article la note d'état corporel qui est un indice de l'état des réserves obtenu aisément par maniements et comparaison à une grille de référence (notes de 0 à 5), d'après AGABRIEL *et al*, 1986, pour les vaches de races à viande françaises).

Enfin, nous préciserons les principales modifications apportées aux recommandations de 1978, qui portent principalement sur leur adaptation à des types de vaches différents (quant à l'état à la rentrée à l'étable, l'âge, la race...) et à diverses époques de vêlage (à la fin de l'été en plus de la période habituelle de l'hiver). Les données expérimentales utilisées seront de préférence celles obtenues sur les vaches des races à viande ou rustiques utilisées en France.

I. Les effets du niveau d'alimentation

1. Poids et vitalité du veau à la naissance

Il est maintenant bien établi qu'une réduction, même importante, du niveau d'alimentation énergétique ou global au cours de la fin de la gestation, c'est-à-dire durant la période de croissance foetale maximale, ne menace généralement pas la survie du veau né simple, ni avant ni après sa naissance. La vigueur et la résistance du veau, qui dépendent de bien d'autres facteurs (dont surtout le bon déroulement de la naissance) ne sont apparemment pas modifiées. Sur le domaine INRA du Pin-au Haras, des vaches charolaises sous-alimentées de 2,5 UFL par jour et ne prenant que peu de poids vif (0,23 kg/jour) au cours des 2 à 3 derniers mois de la gestation ont donné naissance à des veaux d'un poids élevé (47 kg) et identique à celui des veaux de vaches homologues nourries selon leurs besoins moyens et dont le gain de poids était de 0,52 kg par jour au cours de la même période (tableau 1).

Pour que le poids à la naissance des veaux de vaches adultes soit réduit significativement, il faut que leurs mères perdent du poids vif tout en étant gestantes (revue de PETIT, 1979) ; il s'agit là de situations extrêmes peu courantes dans notre pays. Les veaux nés de toute jeunes vaches, de deux ans par exemple, sont en revanche plus sensibles au niveau d'alimentation en gestation, car la réduction des apports alimentaires limite le développement de leurs mères au vêlage et par là celui de leur veau. Des veaux hypotrophiés à la naissance ont moins de chances de survivre et parfois une vitesse de croissance réduite ; il n'est cependant pas possible de faire la part de ce qui est dû à son état physiologique propre, ou aux altérations de son environnement maternel (déroulement du vêlage, soins au nouveau-né, quantité et qualité du colostrum puis du lait disponible...).

TABLEAU 2

Effets du niveau d'alimentation hivernale et du chargement durant la seconde moitié du pâturage, pendant 4 années successives (vaches salers multipares, région de montagne)

Apports énergétiques hivernaux	=besoins		=besoins-1,5 UFL		Signification des effets hiver.	pâturage
Niveau du chargement durant la 2° moitié du pâturage	normal	fort	normal	fort		
Nombre d'années - vaches	73	77	74	76		
Perte de poids hivernale (kg)	39	31	60	50	***	*
Gain de poids au pâturage (kg)	56	44	71	60	***	***
VEAUX						
Date de naissance	27/1	29/1	01/2	03/2		
Poids naissance (kg)	42,7	41,1	41,9	40,6		
GMQ naissance-sevrage (kg/jour)	1,07	1,03	1,04	1,00	**	***
Poids au sevrage (kg)	312	302	304	284	*	**
REPRODUCTION						
Vaches cyclées 2 mois après le vélage	38	22	8	5	*	NS
Taux de gestation (%)	95	97	97	100		
Intervalle entre vélages (jours)	363	363	368	368		

Différences significatives * : p<0,05 ; ** : p<0,01 ; *** p<0,001

TABLEAU 3

Effets du niveau des apports énergétiques hivernaux à la fin de la gestation ou au début de la lactation

	Essai fin de gestation				Essai début de lactation			
Energie ingérée (UFL)								
fin gestation	6,1	**	5,0	(3 mois)	5,7		5,7	(2 mois)
début lactation	7,5		7,5	(1,5 mois)	9,2	**	7,0	(3 mois)
Production laitière hivernale (kg/j)	9,4		9,2		8,7		7,9	
Gain de poids des veaux (kg/j)	0,81		0,81		0,80		0,75	
Perte de poids vif vide (kg)								
fin gestation	- 12	**	- 25		- 23		- 20	
début lactation	- 26		- 27		- 25	**	- 52	
% vaches cyclées	70	*	43	(45 jours)	64		63	(65 jours)
Taux de gestation								
1ère I.A.	45	*	27		59	*	21	
global	95		89		100		96	

Note: dans chaque expérience, la moitié des vaches allaitaient 2 veaux (dont un adopté)

Différences significatives * : p<0,05 ; **: p<0,01 ; *** : p<0,001

Les rôles respectifs de l'état et du niveau alimentaire "en cours" sur la fertilité des vaches cyclées n'ont pas été dissociés de manière claire. Cependant, une sous-alimentation importante après le vêlage et poursuivie au cours de la période de reproduction (par exemple de −2 UFL par jour) réduit cette fertilité (tableau 3).

Globalement, lorsque la période de monte débute à la mise à l'herbe (vêlages moins de 1,5 à 2 mois auparavant), et que celle-ci a lieu dans de bonnes conditions (quantité d'herbe, climat), des vaches sous-alimentées en hiver peuvent être fécondées aussi rapidement que celles qui ont été mieux alimentées (tableau 1), dès lors qu'elles ne sont pas en trop mauvais état. L'amélioration brutale du niveau alimentaire facilite les retours en chaleur et est favorable à une bonne fertilité. Nous avons admis que les vaches peuvent alors être mises à l'herbe dans un état médiocre à moyen : 1,5 à 2 sur 5 selon que l'herbe offerte est abondante ou non.

En revanche, si la période de reproduction débute avant la mise à l'herbe (vêlages du début de l'hiver), les vaches ne peuvent généralement pas bénéficier durant l'hivernage d'une augmentation brutale du niveau d'alimentation comme à la mise à l'herbe. Aussi est-il alors souhaitable de les amener dans un état suffisant au début de la période de monte et de le maintenir si possible jusqu'à la mise à l'herbe, pour assurer la venue en chaleur et une fertilité normale. Nous avons admis que l'état favorable est d'au moins 2,5 sur 5 et que les vaches ne devaient pas être sous-alimentées au cours de la période de monte. On peut supposer qu'il doit en être de même pour les vaches qui vêlent en fin d'été ou début d'automne, dont une partie au moins se reproduisent après la rentrée à l'étable.

Ces nobes-"cibles" ont été choisies à partir des résultats déjà obtenus à l'INRA et correspondent sensiblement à celles proposées par LOWMAN (1976) et KILKENNY (1978) à partir d'observations effectuées en majorité sur des vaches de races à viande anglo-saxonnes ou croisées Frisonnes. Une étude en cours ITEB-INRA devrait permettre de les préciser dans les conditions d'élevages charolais et limousin.

Comme dans le cas de la production laitière, la reproduction des vaches primipares est plus sensible au niveau d'alimentation que celle des vaches plus âgées ; un déficit énergétique journalier de 1,5 UFL à l'échelle de l'hiver peut retarder leur vêlage suivant de 3 semaines par rapport à celui de vaches mieux nourries (GAREL *et al*, 1988).

Nous n'avons pas envisagé ici la reproduction des génisses. En effet, malgré la faible précocité sexuelle des femelles allaitantes utilisées en France, elles sont dans la plupart des cas pubères et fertiles à 24-27 mois, lorsqu'elles sont mises à la reproduction (TROCCON, 1987). Cependant, un second hivernage réalisé dans de mauvaises conditions (faible niveau d'alimentation, stabulation entravée, étable sombre), peut chez les génisses les plus jeunes et/ou les moins développées, mettre en "sommeil" une activité ovarienne qui s'était manifestée au cours de la période de pâturage précédente (PELOT *et al*, 1984). La première fécondation peut alors être retardée.

Il existe aussi des effets différés du niveau nutritionnel durant la phase d'élevage sur les performances de reproduction globales à l'échelle de la vie : fertilité, conditions de vêlage, survie des veaux. Mais les résultats expérimentaux dans ce domaine restent trop limités pour que nous puissions déjà en tenir compte ; rappelons simplement ici que les études à long terme réalisées aux USA en conditions de ranching indiquent qu'il existerait un niveau d'alimentation optimal durant la période d'élevage et de production, pour lequel la productivité numérique serait légèrement accrue (PINNEY *et al*, 1972 ; HUGUES *et al*, 1978). Dans les expériences réalisées en France avec des vaches multipares pendant plusieurs lactations, les apports alimentaires hivernaux correspondant strictement aux "dépenses" ne semblent d'ailleurs pas toujours donner les meilleurs résultats de taux de gestation (tableaux 1 et 2).

II. Les variations des réserves corporelles

Les variations de poids vif et d'état constituent les manifestations les plus visibles des phénomènes de mobilisation et de reconstitution des réserves corporelles. A l'échelle de l'année, l'amplitude totale de la variation du poids vif de la vache allaitante peut atteindre 20 % de son poids après vêlage soit 100 à 150 kg pour une vache charolaise adulte : le poids maximum se situe juste avant le vêlage et le poids minimum juste après la mise à l'herbe.

Ces variations importantes de poids vif reflètent assez mal celles de la masse corporelle : les plus importantes proviennent de la perte du contenu utérin lors du vêlage (jusqu'à 1,7 fois le poids du veau à la naissance) et des variations du contenu digestif, en particulier à la mise à l'herbe. Selon les cas ces modifications amplifient ou masquent le gain ou la perte de masse corporelle.

L'état corporel, mesuré dans des conditions aussi rigoureuses que possible sur des vaches normalement sous-alimentées en hiver, diminue fréquemment de la note 3-3,5 à la rentrée à l'étable à 1,5-2,0 à la mise à l'herbe.

Nous analyserons succintement les variations annuelles du contenu digestif et de la masse corporelle, avant de décrire l'importance et la composition des réserves.

1. Variations annuelle du contenu digestif et de la masse corporelle

Comme chez tous les ruminants, il est primordial de bien connaître le poids du contenu digestif de la vache allaitante. Ses variations à court terme, au cours de la journée ou d'un jour à l'autre, ou à plus long terme avec le régime alimentaire ou l'état physiologique, perturbent constamment l'appréciation des variations réelles de la masse corporelle (ou poids vif vide) (cf chapitre sur les réserves corporelles dans le même numéro, CHILLIARD *et al*, 1987). Cela est amplifié chez la vache allaitante par rapport à d'autres types de bovins car elle consomme souvent des fourrages peu digestibles au cours de la période hivernale, ce qui accroît la perte de poids à la mise à l'herbe. C'est le contenu ruminal dont la part est généralement appréciée à 80 % du contenu digestif total qui en représente l'élément le plus variable en valeur absolue.

Au cours de l'hiver le contenu ruminal augmente après le vêlage : le contenu ruminal de six vaches charolaises (670 kg après vêlage) recevant une ration constante de 10 kg de foin, est passé de 100 kg en gestation à 112 kg en lactation (tableau 4) uniquement du fait du stade physiologique. Ceci est d'autant plus vrai pour des vaches recevant du foin à volonté dont les quantités ingérées s'accroissent de 10,8 à 13,2 kg pour un foin de 1,20 UEB. On sait en effet qu'augmenter ou réduire brutalement d'un kg de matière sèche (MS) la quantité de foin ingé-

Les conséquences de variations du niveau d'alimentation au cours de stades plus précoces de la gestation (lorsque la survie embryonnaire n'est plus menacée) sont mal connues, en particulier sur le développement et la "qualité" du placenta. De même les effets spécifiques d'une sous-alimentation azotée prononcée ne peuvent être précisés.

2. Production laitière et croissance du veau

A la suite des premières études américaines portant sur des races peu laitières (Hereford surtout) et d'études françaises portant à la fois sur des vaches de races à viande charolaise (7 à 8 kg de lait par jour) et rustique Salers (8 à 9 kg) (Petit, 1978), d'autres travaux ont établi que la production laitière de la vache allaitante est peu sensible à une réduction des apports énergétiques ou globaux.

Lorsque la durée d'allaitement à l'étable est de courte durée, même une sous-alimentation importante (−2,5 UFL par jour, prolongée depuis la fin de la gestation) ne réduit pas ou peu la production laitière hivernale (tableau 1) ; elle reste limitée par la capacité d'ingestion du tout jeune veau. Sa croissance n'est donc pas modifiée, d'autant qu'à cet âge elle dépend avant tout d'autres facteurs, dont l'état sanitaire. Il en est évidemment de même du poids au sevrage (tableau 1). La production au début de la saison de pâturage peut même être plus importante chez les vaches auparavant sous-alimentées (HODGSON *et al*, 1980).

La production laitière, mesurée dans d'excellentes condition, peut être réduite de manière statistiquement significative par une sous-alimentation de plus longue durée, même modérée (−1,5 UFL par rapport aux besoins) (PETIT et MICOL, 1981). Mais cette réduction de la production reste faible chez les vaches adultes, même lorsqu'elles sont maigres au vêlage (AGABRIEL et PETIT, non publié) ; elle est par exemple de 0,4 kg par jour au bout de 3 mois de lactation pour des vaches salers allaitant un veau, mais peut atteindre 1,5 kg par jour si elles allaitent deux veaux (PETIT et GAREL, 1981).

La sous-alimentation hivernale ne peut donc handicaper la croissance des veaux (allaités seuls) que si elle se prolonge et si ceux-ci ne reçoivent pas une alimentation complémentaire adéquate. Cela reste vrai pour des stades de lactation plus avancés, aussi bien pendant l'hivernage de vaches ayant vêlé à la fin de l'été (LIENARD et PETIT, 1987), qu'au pâturage avec des chargement élevés (BAKER *et al*, 1982 ; LEBLANC *et al*, 1983 ; PETIT *et al*, 1987b). Les réductions du gain de poids des veaux au pâturage résultent beaucoup plus de la faible quantité d'herbe ingérée que de la diminution de production laitière de leurs mères (tableau 2).

Cependant, la production laitière des jeunes vaches est plus sensible à une réduction des apports alimentaires ; par exemple, celle de primipares Salers sous-alimentées (-1,5 UFL en-dessous de leurs besoins d'entretien et de production) a été inférieure de 0,9 kg/jour à celle de leurs homologues mieux nourries (+0,5 UFL au-dessus de leurs besoins) : 6,4 vs. 7,3 kg/j au cours des 3 mois de lactation hivernale ($P < 0,01$) (GAREL et PETIT, non publié) ; la croissance hivernale et le poids au sevrage de leurs veaux ont été significativement réduits (259 vs. 277 kg).

Les résultats précédents ont dans la plupart des cas été obtenus avec des rations qui apportaient au moins 85 % des besoins azotés évalués par la méthode factorielle. Dans deux essais sur trois réalisés avec une ration de fourrages secs (PETIT *et al*, 1987a), ajouter un déficit azoté important au déficit énergétique a accru la perte de poids de la mère avant d'atteindre sa production laitière et la croissance du veau. Nous ne savons cependant pas ce qu'il en serait avec des vaches très amaigries, ni avec des rations comportant des matières azotées très dégradables (ensilages d'herbe mal conservés par exemple).

TABLEAU 1

Effets du niveau d'alimentation hivernale pendant 4 années successives (vaches charolaises multipares, région de plaine)

Apports énergétiques hivernaux :	=besoins		=besoins - 2,5 UFL
Nombre d'années-vaches	80		82
Perte de poids vif Hivernale (kg)	-19	**	-52
Gain de poids au pâturage (kg)	33	**	62
VEAUX :(1)			
Date de naissance	25/2		22/2
Poids de naissance (kg)	46,9		47,1
GMQ naissance-sevrage (kg/jour)	1,02		1,00
Lait bu (kg /jour)	7,7		7,6
Poids au sevrage (kg)	305		307
REPRODUCTION :			
Vaches cyclées 60 jours après le vêlage (%)	72	*	56
Taux de gestation (%)	91		98
Intervalle entre vêlages (jours)	375		371

Les vaches sont entrées en expérience après le sevrage de leur premier veau pour une durée de 4 ans. Les vaches vides ou non allaitantes étaient réformées. La période de vêlage était fixée entre la mi-Janvier et la mi-Mai. La période de monte allait de la mise à l'herbe mi-Avril jusqu'au 10 Août.

(1): Veaux simples ;(mâles + femelles) / 2
Différences significatives : * p<0,05 ; ** p<0,01

3. Reproduction

C'est le plus souvent sur la reproduction d'un faible niveau d'alimentation avant ou après vêlage a les conséquences les plus fâcheuses chez la vache allaitante, se traduisant par un taux de gestation réduit et/ou un allongement de l'intervalle entre vêlages se traduisant par des naissances tardives et un poids au sevrage plus faible. Cela résulte schématiquement de l'effet du niveau d'alimentation sur l'état corporel (effet à moyen terme), du niveau "instantané" des apports (effet à court terme) et des interactions entre ces deux facteurs autour de la période de reproduction (LAMOND, 1970 ; YOUDAN ET KING, 1977 ; GUNN, 1983).

L'effet de l'état a souvent été reconnu comme prépondérant chez les vaches à viande, car il conditionne la venue en chaleur après vêlage : quel que soit le niveau alimentaire de part et d'autre de la mise-bas, celles qui sont en bon état reviennent tôt en chaleur. Au contraire, les vaches en mauvais état reviennent en chaleur plus tardivement, surtout si elles perdent du poids (principalement avant vêlage d'après DUNN et KALTENBACH, 1980) ; cela a été confirmé dans une expérience récente concernant les effets de l'état à la rentrée à l'étable (AGABRIEL *et al*, non publié). C'est sans doute pourquoi le retour en chaleur dépend généralement plus du niveau des apports avant qu'après vêlage (WILTBANK *et al*, 1964), comme le confirment les résultats obtenus sur le Domaine INRA de Marcenat (tableau 3). Le concept d'un état minimum au vêlage a été avancé, état en-dessous duquel le retour en chaleur est différé quel que soit le niveau des apports alimentaires (HARESIGN, 1984).

races ont été abattues à chacun des trois états suivants (figure 1) : maigre (note de 1,0 à 1,5), satisfaisant à bon (note de 2,5 à 4,0), enfin très gras (4,5). Les deux derniers états ont été obtenus après une période d'engraissement de 65 et 120 jours pour les charolaises et de 80 et 125 jours pour les limousines. La différence dans les gains totaux de masse corporelle obtenus chez les charolaises (130 kg) et chez les limousines (106 kg) traduit la différence de format des vaches adultes des deux races.

La proportion de lipides dans la masse corporelle s'accroît de façon importante entre le lot le plus maigre et le plus gras, passant pour les charolaises de 7,4 à 21,0 % (+97 kg) et pour les limousines de 8,8 à 21,6 % (+81 kg). Par contre la quantité de protéines augmente peu, de 6 kg environ pour les charolaises et de 5 kg pour les limousines ; la part relative des protéines dans la masse corporelle totale diminue donc avec l'augmentation de l'état d'engraissement. Ces variations des quantités de protéines sont "associées" à des variations de quantités d'eau corporelle de 27 et 20 kg respectivement. Le rapport protéines/eau dans la masse corporelle supplémentaire est comparable à celui mesuré pour le corps entier (1/4).

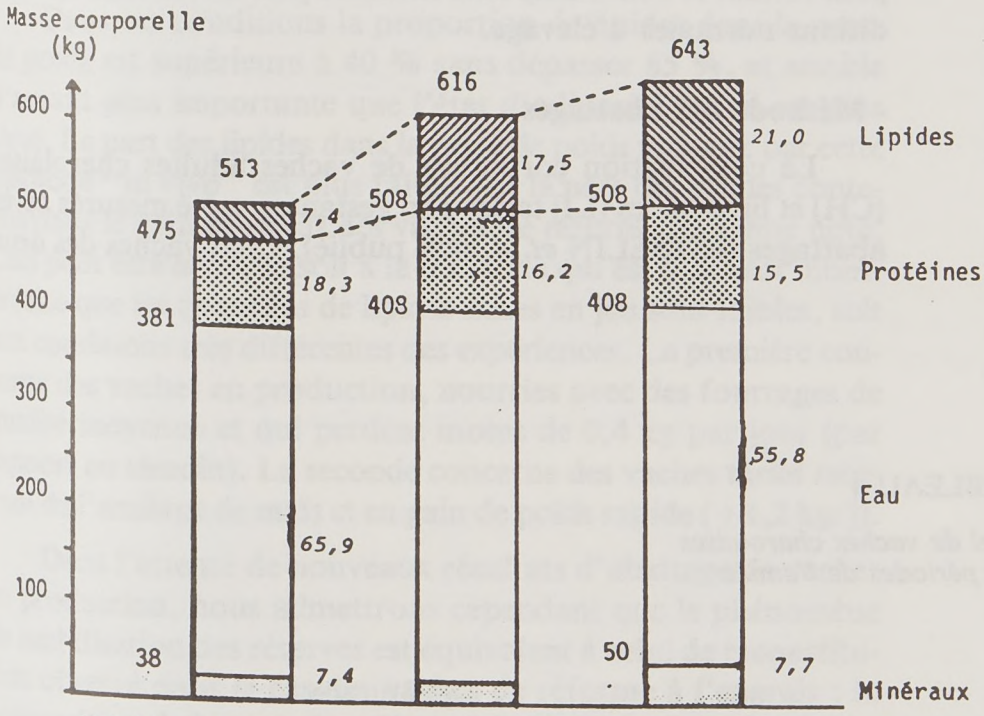
L'abattage de vaches en l'état intermédiaire a permis de montrer que le gain de protéines est presque totalement acquis au cours de la première période d'engraissement (jusqu'à l'état 2,5 pour les charolaises) sans toutefois dépasser 6 % du gain de masse corporelle. Au cours de la deuxième période, le gain n'est composé que de lipides (figure 1). La reprise de poids est donc de plus en plus riche en énergie.

- Méthodes d'estimation "in vivo"

Nous avons aussi estimé la composition de la perte de poids de vaches charolaises entre le 1er et le 4e mois de la lactation ou entre le 8e mois de la gestation et le 3e mois de la lactation, à partir de la taille des adipocytes du tissu adipeux sous-cutané (tableau 5) (ROBELIN et AGABRIEL, 1986). La part des lipides dans la perte a été déterminée en comparant les variations du diamètre des adipocytes entre deux lots de vaches, sous-alimentées ou témoin (plutôt qu'intralot), afin d'éviter les effets possibles du stade physiologique.

1 - VACHES CHAROLAISES

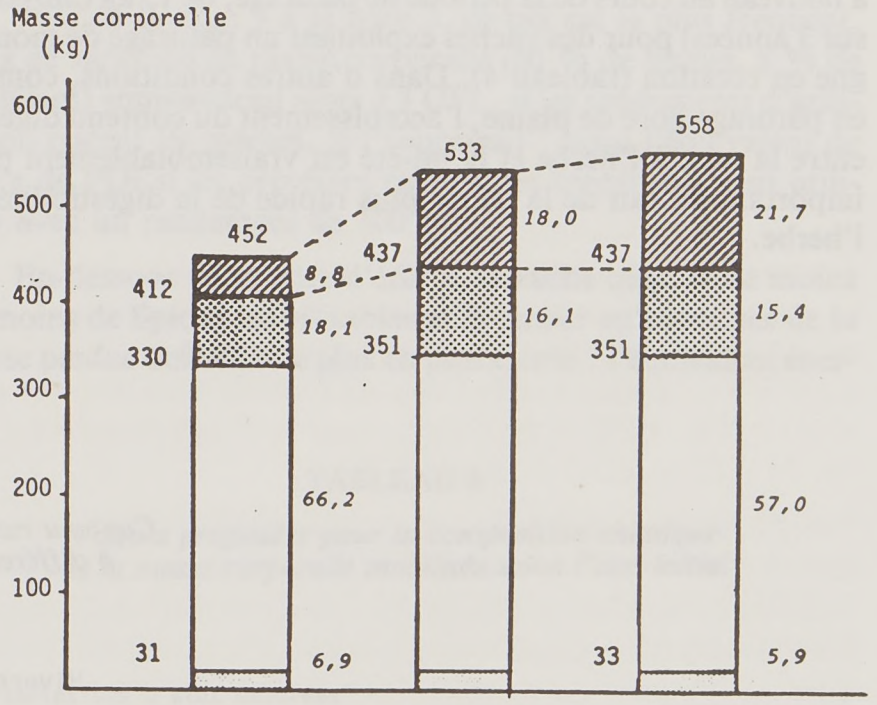
Note d'état	1,0	2,5	4,0
Diamètre des adipocytes (M)	23	64	94



Robelin, Dumont, Bonnemaire, Roux, Agabriel et Malterre - Résultats non publiés -

2 - VACHES LIMOUSINES

Note d'état	1,5	4,0	4,5
Diamètre des adipocytes (M)	59	105	124



Robelin, Malterre, Agabriel - Résultats non publiés -

Remarques : - on suppose que les 3 lots sont identiques au départ.

- Les vaches les plus maigres et les plus grasses ont été disséquées. Leur composition chimique a été estimée à partir de leur composition tissulaire.
Pour les vaches abattues dans un état intermédiaire, la composition chimique a été retenue à partir de la composition tissulaire de la 6ème côte et du poids des dépôts adipeux du 8ème quartier.

FIG. 1 : *Evolution de la composition corporelle de vaches de réforme à l'engrais.*

rée entraîne une variation au moins à court terme de 6 kg du poids vif (PETIT et MICOL, 1981), dont environ 4 kg de contenu ruminal (AGABRIEL et GIRAUD, 1988). En admettant que l'on puisse extrapoler ces valeurs à de plus longues périodes et à des vaches alimentées à volonté, le contenu ruminal s'accroîtrait de 10 kg supplémentaires entre le début et la fin de l'hiver du fait de l'augmentation des quantités ingérées.

Mais après une distribution en quantité limité, 5,5 kg de MS distribué en moins pendant 120 jours par exemple (tableau 4) un écart entre lots d'un kg de MS ingérée ne se traduit que par une différence de 2,5 kg de contenu ruminal ; les vaches restreintes compensent la perte de contenu liée à la baisse des quantités ingérées par une augmentation de la teneur en eau du contenu ruminal comme l'avait observé DOREAU *et al* (1986) sur des vaches laitières.

En définitive, le contenu ruminal ne pourra être considéré comme invariable que dans le cas de rations "normalement" limitées distribuées en quantité constante à des vaches de même stade physiologique (lactation) : variations de poids vif et variations de masse corporelle seront alors comparables.

La perte hivernale de masse corporelle dépend bien évidemment du niveau de sous-alimentation, mais dans les conditions moyennes des apports alimentaires recommandés elle représente 10 % environ du poids vif vide (PVV). Une perte de 50 kg a ainsi été mesurée sur 21 charolaises fistulées qui pesaient 655 kg après vêlage soit 500 kg de PVV.

A la mise à l'herbe le contenu ruminal chute brutalement de 110 kg (pour un régime hivernal de 10 kg de MS de foin) à 75 kg environ chez la vache charolaise (tableau 4) ce qui correspond à une perte de poids vif de près de 40 kg. Il s'accroît à nouveau au cours de la période de pâturage, de 15 kg (moyenne sur 3 années) pour des vaches exploitant un pâturage de montagne en rotation (tableau 4). Dans d'autres conditions, comme en pâturage libre de plaine, l'accroissement du contenu digestif entre la mise à l'herbe et la mi-été est vraisemblablement plus important du fait de la baisse plus rapide de la digestibilité de l'herbe.

La reconstitution de la masse corporelle à l'herbe est un phénomène très rapide si la mise à l'herbe se passe dans de bonnes conditions. La reprise de PVV mesurée sur les vaches fistulées est d'environ 1,5 kg/jour au cours des 18 premiers jours (moyenne de 3 années) puis se maintient à 0,5 kg/jour au cours des deux mois suivants. Si l'herbe est suffisante, elle est d'autant plus rapide que la perte hivernale a été forte : des vaches ayant perdu 40 et 100 kg au cours de l'hiver précédent et mises à l'herbe à des notes d'état respectivement de 3 et 1,5 sur 5 reprennent au cours des premières semaines moins de 1 kg/j et plus 2 kg/j sur la même parcelle (AGABRIEL et GIRAUD, non publié).

Dans de bonnes conditions de pâturage on considère souvent le poids de fin juillet, début août comme poids de référence d'une vache allaitante qui vêle en hiver, car la masse corporelle est pratiquement à sa valeur maximum.

La variation annuelle du contenu digestif total et de la masse corporelle d'une jeune vache charolaise a été décrite par PETIT (1988) à partir des propositions faites par JARRIGE en 1974, étayées et modifiées par les mesures récentes.

2. Composition des réserves corporelles

Nous n'envisagerons ici que la composition globale du corps vide en lipides, protéines, eau et minéraux ainsi que la composition globale de sa variation de poids (les réserves). Les méthodes d'estimation de la composition corporelle ont été développées dans ce numéro (CHILLIARD *et al*, 1987). Nous nous attacherons au cas des vaches de races à viande françaises. Les travaux étrangers se rapportent généralement à des vaches de plus petit format et dont l'adiposité demeure plus élevée dans les conditions normales d'élevage.

- Méthode des abattages

La composition corporelle de vaches adultes charolaises (CH) et limousines (LI) taries non gestantes, a été mesurée après abattages (ROBELIN *et al*, non publié). Cinq vaches des deux

TABLEAU 4

Contenu ruminal de vaches charolaises à différentes périodes de l'année

	Hivernage				Pâturage		
Régime alimentaire	foin limité (1) 10 kg - 1 kg cc		foin limité (2) 14,5 kg	9 kg	jeune herbe ou repousses (3) Juin	fin Juillet	fin Septembre
Stade physio.	Gestation 2 derniers mois	Lactation 3 premiers mois	Lactation 3ème mois	Lactation 3ème mois	Lactation 4ème mois	Lactation 6ème mois	Lactation 8ème mois
Nombre de vaches	4	4	4	5	21	21	21
Poids vif (kg)	734	645	628	602	612	639	682
Poids du contenu ruminal (kg)	100	112	99	85	76	83	90

INRA : Domaine de Laqueuille

Les vidages ont été réalisés à l'heure habituelle de pesée des vaches,vers 14 heures.
(1) Vidage effectué 5 h après le 1er repas représentant la moitié de la ration
(2) Vidage effectué 6 h après le 1er repas représentant la moitié de la ration
(3) Vidage effectué à 14 h. Le premier vidage a eu lieu 12 jours après la mise à l'herbe

TABLEAU 5

Composition chimique de la masse corporelle mobilisée : résultats obtenus chez des vaches charolaises en production (estimation à partir de la taille des adipocytes)

Stade physiologique	8ème mois de gestation au 2ème mois de lactation (1)	8ème mois de gestation au 2ème mois de lactation (1)	1er au 4ème mois de lactation
Caractéristiques initiales :			
Poids vif (kg)	587	628	630
Note	1,4	2,7	2,9
Diamètre des adipocytes (u)	52	81	69
Durée (jours)	128	128	112
Perte de P.V.V. (kg)	35	28	44
Perte de lipides (kg) (2)	16	18	20
% de lipides dans la variation de poids	46	63	45

INRA : Domaine de Laqueuille

(1): En gestation 55 jours et en Lactation 73 jours
(2): Lipides estimés à partir des DAT (Dépôts adipeux totaux)(Geay et Robelin 1978) et DAT estimés à partir de la taille des adipocytes (Robelin et Agabriel 1986)

Dans ces conditions la proportion de lipides dans la perte de poids est supérieure à 40 % sans dépasser 65 %, et semble d'autant plus importante que l'état d'adiposité initial est plus élevé. La part des lipides dans la perte de poids mesurée par cette méthode "in vivo" est plus faible que la part des lipides contenus dans le gain de poids des vaches de réforme de même note. Ceci peut être attribué soit à la méthode qui est d'autant moins précise que les quantités de lipides mises en jeu sont faibles, soit aux conditions très différentes des expériences. La première concerne des vaches en production, nourries avec des fourrages de qualité moyenne et qui perdent moins de 0,4 kg par jour (par rapport au témoin). La seconde concerne des vaches taries recevant de l'ensilage de maïs et en gain de poids rapide (+ 1,2 kg/j).

Dans l'attente de nouveaux résultats d'abattage de vaches en production, nous admettrons cependant que le phénomène de mobilisation des réserves est équivalent à celui de reconstitution observé dans le cas des vaches de réforme à l'engrais ; la composition de la variation dépend d'abord de l'état d'engraissement initial.

Si on admet que la teneur en énergie des lipides et des protéines corporels est de 9,37 et 5,48 Mcal/kg (ROBELIN et GEAY, 1978) et que le rendement de transformation de l'énergie corporelle au profit de la production laitière est de 0,82 (CHILLIARD *et al*, 1987), on peut alors estimer la teneur en énergie et protéines du kg de masse corporelle mobilisé et son équivalent en UFL (tableau 6).

Des vaches grasses notées 4, ce qui correspond à l'état maximum observé dans les conditions habituelles d'élevage, ne mobiliseraient que des lipides jusqu'à l'état 3. Entre ces 2 notes, une variation de poids de 1 kg fournirait donc l'équivalent énergétique de 4,5 UFL (9,37 × 0,82/1,7).

Puis de la note 3 à la note 2, ce qui est le plus fréquent, le kg de variation de masse corporelle (60 % de lipides, 8 % de protéines) équivaudrait alors à 3 UFL, si les rendements d'utilisation restent les mêmes. Il "fournirait" aussi l'équivalent de 120 g de PDI si les protéines corporelles mobilisées sont utilisées avec un rendement de 100 %.

En-dessous de la note d'état 2, la vache dispose de moins en moins de lipides mobilisables et la teneur en protéines de la masse perdue doit être de plus en plus élevée : l'équivalent éner-

TABLEAU 6

Valeurs proposées pour la composition chimique de la masse corporelle mobilisée selon l'état initial

Variations d'état mesurées par des variations :			
- de note	de 4 à 3	de 3 a 2	de 2 à 1
- de taille des adipocytes	100 à 75	75 à 55	55 à 30
Lipides %	100	60	20
Protéines %	0	8	16
Eau + minéraux %	0	32	64
Energie (Mcal/kg) (1)	9,37	6,06	2,75
Equivalent UFL	4,5	3,0	1,3

* Ce tableau correspond à une perte de poids modérée et ne serait sans doute plus valable pour des niveaux de sous alimentation extrêmes.

(1) Energie/g de lipides = 9,37 kcal, /g de protéines = 5,48 kcal

gétique deviendrait faible (1,3 UFL/kg pour 20 % de lipides). A la note 0,5 sur 5, qui correspond au minimum observé dans les élevages, les lipides restant (environ 5 %) peuvent être considérés comme lipides de structure non mobilisables.

Pour la reconstitution des réserves nous avons supposé que les rendements de transformation de l'énergie métabolisable pour le dépôt de lipides (Kf) et de protéines (Kp) sont respectivement de 0,60 et 0,35 pour une ration à concentration énergétique relativement élevée (GEAY *et al*, 1987). Dans ces conditions les ''valeurs énergétiques'' du kg de gain de poids seraient les suivantes : de la note 1 à la note 2 : 1,9 UFL, de 2 à 3 : 3,7 UFL, enfin au-dessus de la note 3 : 5,4 UFL.

En définitive, la composition des réserves mobilisables des vaches de race à viande française est faible en lipides lorsqu'on la compare aux résultats obtenus sur d'autres types de vaches, de races laitières ou de races à viandes Anglo-saxonnes notamment (Hereford) (cf tableau 7 de l'article de CHILLIARD *et al*, 1987, dans ce numéro). Cela résulte surtout du fait que celles-ci sont souvent plus ''grasses'' et qu'elles peuvent alors mobiliser plus de lipides.

3. Relations entre les apports énergétiques et la variation de masse corporelle

Dans plusieurs essais réalisés à l'INRA nous avons rapproché les variations de masse corporelle et le niveau des apports énergétiques : des vaches charolaises ou salers pesant suivant les lots de 550 à 645 kg après le vêlage recevaient des rations à base de foin dans la plupart des cas ou à base de foin et d'ensilage d'herbe (4 cas). La valeur énergétique des fourrages a été estimée d'après leur digestibilité sur moutons nourris à volonté. Les résultats portent sur des lots de 6 à 15 vaches observés au minimum pendant 50 jours : 32 lots en lactation (73 jours en moyenne) et 10 en fin de gestation (68 jours en moyenne).

Les apports énergétiques ont été exprimés en UFL par kg de $P^{0,75}$ et par jour, après déduction des besoins de production laitière ou de gestation ; il s'agit donc des apports énergétiques disponibles pour l'entretien. On a supposé que les besoins par kg de lait étaient constamment égaux à 0,45 UFL (42 g de MG et 34 g de MP par kg). Les besoins de gestation ont été calculés à partir de l'estimation de l'énergie déposée dans l'utérus gravide (INRA, 1978) et d'un rendement de l'énergie métabolisable de 0,13 supposé constant.

Pour chacun des deux stades physiologiques, un ajustement curvilinéaire a permis d'estimer l'apport correspondant à une perte de poids donnée (figure 2). Cet ajustement a été préféré à un simple ajustement linéaire, bien qu'il ne fût pas statistiquement meilleur ; il est en effet apparu plus conforme à l'évolution indiquée par les points moyens représentatifs de quatre classes de variation de poids (figure 2).

- Estimation des apports nécessaires pour une variation de poids nulle.

Les apports énergétiques nécessaires pour une variation de poids nulle sont de 0,052 UFL/jour/kg de $P^{0,75}$ en lactation, et de 0,039 UFL en gestation, soit pour une vache de 600 kg de 6,25 et 4,70 UFL/jour respectivement. En lactation ils sont supérieurs d'environ 25 % aux besoins d'entretien déterminés sur des vaches laitières maintenues en chambre respiratoire (VAN ES, 1975), qui sont de 5 UFL pour 600 kg. Ces résultats confirment ceux obtenus par PETIT et MICOL (1981) sur races allaitantes françaises, ainsi que par différents auteurs américains sur d'autres races à viande (par exemple : HOHENBOKEN *et al*, 1972 ; NEVILLE, 1974). Ils pourraient provenir soit d'une mauvaise estimation des bilans énergétiques (valeur des fourrages, dépenses d'entretien), soit du fait que la perte de poids constatée pour un apport de 5 UFL ne correspondrait par réellement à une perte d'énergie.

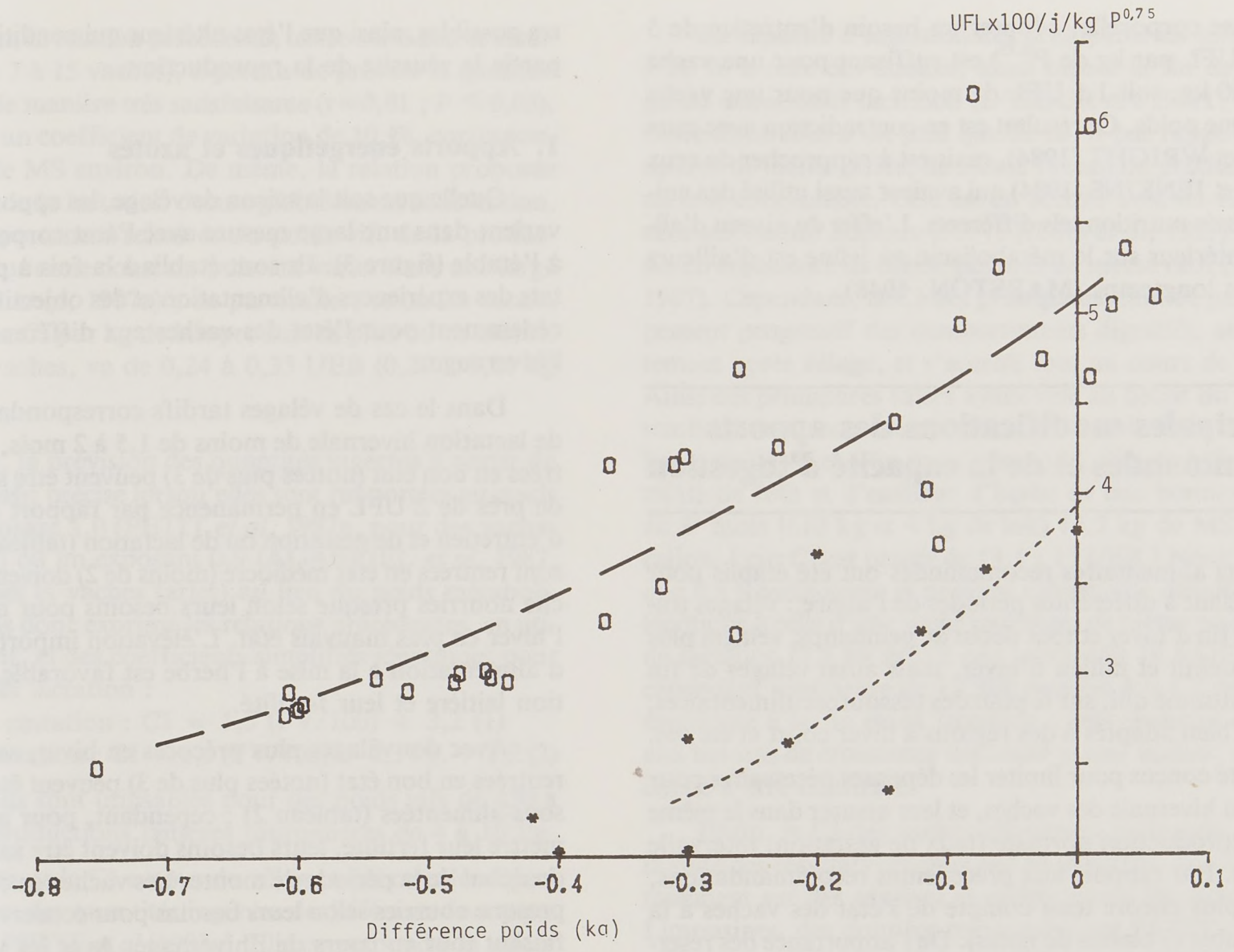
La valeur énergétique nette des fourrages utilisés a été estimée d'après la digestibilité de la M.O. obtenue sur moutons nourris à volonté, en utilisant les équations proposées par VERMOREL *et al* (1978). La digestibilité de ces fourrages, de qualité moyenne (d MO = 0,55 à 0,60), est généralement comparable chez les ovins et les bovins. Il est cependant possible que les rendements KI (EN/EM) correspondants soient plus faibles que ceux calculés. Il est en revanche peu problable que les dépenses des vaches allaitantes soient supérieures à celles que nous avons admises ; il est même au contraire maintenant bien établi que les bovins de race à viande ont des besoins d'entretien inférieurs à ceux des races laitières (BLAXTER et WAINMAN, 1966 ; Vermorel *et al*, 1976 ; LEMENAGER *et al*, 1980 ; TAYLOR *et al*, 1981 ; FERREL et JENKINS, 1984).

La perte de poids constatée pour un apport énergétique de 5 UFL pourrait ne pas correspondre à une perte réelle d'énergie. Pour les essais réalisés en lactation, qui ont pour la plupart débuté dès le vêlage, une partie de cette perte résulte de l'involution utérine, qui peut représenter 6 à 8 kg, soit 80 à 110 g par jour pour une durée expérimentale moyenne de 73 jours. Le reste de la perte pourrait provenir d'une réduction du volume d'eau corporelle (volume sanguin, eau de la masse corporelle délipidée) ; mais le phénomène inverse devrait alors être observé, au moins en partie, à la fin de la gestation, ce qui n'est pas le cas. De même, il est très peu probable qu'il s'agisse d'une diminution du poids du contenu digestif, au moins après vêlage, puisque, même avec une quantité de MS ingérée constante, le contenu ruminal a plutôt tendance à augmenter avec l'avancement de la lactation (paragraphe II.1).

Il s'agit là d'une série d'hypothèses qu'il conviendra de confirmer ou d'infirmer. En attendant, nous avons admis que les apports nécessaires pour maintenir l'équilibre énergétique corporel d'une vache de 600 kg restaient de 4,5 UFL lorsqu'elle est tarie et de 5,0 UFL lorsqu'elle est en lactation.

- Economie énergétique correspondant à la perte de masse corporelle.

Il est possible d'estimer à partir de la figure 2 l'''équivalent énergétique de la perte de poids'', c'est-à-dire l'''économie réalisée sur les apports énergétiques'' pour un kg de masse corporelle perdu. Cette économie est très importante : elle est de (6,25-5,13)/0,2 = 5,6 UFL entre la vache de 600 kg qui ne perd pas de poids en lactation et celle qui perd 0,2 kg, et de (6,25-2,74)/0,8 = 4,4 UFL pour la même vache qui perd 0,8 kg par jour ; elle reste proche de ce que fournirait la mobilisation d'un kg de lipides (4,5 UFL). Mais nous avons précédemment souligné qu'il est très probable que la teneur en lipides de la perte de poids ne dépasse pas 60 % pour une vache passant de la note 3 à la note 2, ce qui correspondrait à 3 UFL par kg. Dans ces conditions, nous devons admettre que les vaches sous-alimentées sont capables de réaliser des économies supérieures à ce que représente la mobilisation de leur énergie corporelle. Si cette économie supplémentaire est faite sur ses dépenses d'entretien, elle est de 8 % chez les vaches qui perdent 0,2 kg par jour ($=(6,25 - 5,13 - 0,2\times3,0) / 6,25$), et de 18 % chez celles qui perdent 0,8 kg par jour ($= (6,25 - 2,74 - 0,8\times3,0) / 6,25$).



Remarques : - Les variations moyennes journalières de masse corporelle ont pu être estimées à partir de celles du poids vif. On a supposé que le poids du contenu digestif ne variait pas entre le début et la fin des essais du fait que les vaches recevaient en permanence la même quantité de MS. Quand ce n'était pas le cas on a supposé que le poids variait à raison de 6 kg par kg de MS ingérée en plus ou en moins.

- Régression curvilinéaire entre les apports énergétiques (Y) exprimés en UFL/j/kg $P^{0,75}$ et la variation de poids (X) en kg/j
  - en lactation : $Y = 5,16 + 4,99\ X + 1,78\ X^2 \pm 0,50$
  - en gestation : $Y = 3,90 + 6,92\ X + 6,13\ X^2 \pm 0,49$

FIG. 2 : *Relation entre la variation de poids et les apports énergétiques diminués des dépenses de production (O : vaches en lactation, n = 32. ✱ : vaches en gestation, n = 10.)*

On a également calculé entre les lots homologues de chaque essai le rapport "variation de l'apport énergétique / variation de la perte de poids". Ce dernier mode de calcul a l'avantage d'éviter les erreurs dues au regroupement d'essais différents (1). La quantité moyenne d'énergie alimentaire épargnée par kg de poids supplémentaire perdu par les vaches les moins bien nourries est alors de 6,1 (± 1,6) UFL en lactation. Elle est encore supérieure aux valeurs précédemment trouvées. Comme ces vaches perdent en moyenne 0,29 kg de plus que leurs homologues par jour, elles réaliseraient par rapport à ces dernières une économie journalière de 0,90 UFL (= 0,29 * (6,1-3,0)), si on admet que cette perte contient 60 % de lipides.

(1) Note : 24 données sur les 32 disponibles correspondent à 11 essais où deux niveaux d'apports énergétiques au moins ont été effectivement comparés. Seuls deux essais en lactation et un essai en gestation comportaient une comparaison de trois niveaux d'apports, et n'ont pas permis à eux seuls de donner l'évolution de la variation de poids selon le niveau de ces apports.

Les mêmes calculs peuvent être réalisés avec les vaches gestantes, mais le nombre et la dispersion des données ne permettent pas la même précision. Il semble cependant que l'économie réalisée sur les apports énergétiques pour un kg de masse corporelle mobilisé soit de 7,4 UFL lorsqu'elle est calculée par la première méthode (figure 2), et de 8,5 UFL par la seconde méthode. Elle est bien supérieure à celle calculée pour la lactation ; les possibilités de réduction des dépenses énergétiques apparaissent plus importantes.

- Effets de l'état d'engraissement.

Le niveau des apports énergétiques nécessaires pour éviter toute perte de poids hivernale varie avec l'état des vaches, comme l'ont montré les résultats obtenus sur 80 vaches charolaises et salers, qui avaient été appariées sur leur format et leur poids au début du mois d'août, et amenées dans des états d'engraissement différents (1,5 et 3,0) à la rentrée à l'étable. Elles ont reçu 1,5 UFL en plus ou en moins de leurs besoins durant 120 jours d'hivernage de part et d'autre du vêlage. Pour éviter toute

perte de masse corporelle, adopter un besoin d'entretien de 5 UFL (0,041 UFL par kg de $P^{0,75}$) est suffisant pour une vache maigre de 600 kg, soit 1,5 UFL de moins que pour une vache grasse de même poids. Ce résultat est en contradiction avec ceux de RUSSEL et WRIGHT (1984), mais est à rapprocher de ceux de FERREL et JENKINS (1984) qui avaient aussi utilisé des animaux aux passés nutritionnels différents. L'effet du niveau d'alimentation antérieur sur le métabolisme au jeûne est d'ailleurs connu depuis longtemps (MARSTON, 1948).

III. Principales modifications des apports recommandés et de la capacité d'ingestion

Les apports alimentaires recommandés ont été établis pour des vaches vêlant à différentes périodes de l'année : vêlages traditionnels de fin d'hiver et tout début de printemps, vêlages plus précoces de début et milieu d'hiver, mais aussi vêlages de fin d'été ou d'automne qui, sur le plan des ressources alimentaires, peuvent être bien adaptés à des régions à hiver court et été sec.

Ils ont été conçus pour limiter les dépenses nécessaires pour l'alimentation hivernale des vaches, et leur assurer dans le même temps une reproduction normale (taux de gestation, intervalle entre vêlages. Par rapport aux précédentes recommandations, nous avons plus encore tenu compte de l'état des vaches à la rentrée à l'étable (3 classes de notes). De l'importance des réserves corporelles disponibles dépendent les économies alimentaires possibles, ainsi que l'état ultérieur qui conditionne en grande partie la réussite de la reproduction.

1. Apports énergétiques et azotés

Quelle que soit la saison de vêlage, les apports énergétiques varient dans une large mesure avec l'état corporel à la rentrée à l'étable (figure 3). Ils sont établis à la fois à partir des résultats des expériences d'alimentation et des objectifs proposés précédemment pour l'état des vaches aux différentes périodes de l'hivernage.

Dans le cas de vêlages tardifs correspondant à une durée de lactation hivernale de moins de 1,5 à 2 mois, les vaches rentrées en bon état (notées plus de 3) peuvent être sous-alimentées de près de 2 UFL en permanence par rapport à leurs besoins d'entretien et de gestation ou de lactation (tableau 1). Celles qui sont rentrées en état médiocre (moins de 2) doivent être en revanche nourries presque selon leurs besoins pour ne pas terminer l'hiver en plus mauvais état. L'élévation importante du niveau d'alimentation à la mise à l'herbe est favorable à leur production laitière et leur fertilité.

Avec des vêlages plus précoces en hiver, seules les vaches rentrées en bon état (notées plus de 3) peuvent être modérément sous-alimentées (tableau 2) ; cependant, pour ne pas compromettre leur fertilité, leurs besoins doivent être satisfaits à partir du début de la période de monte. Les vaches en état moyen sont presque nourries selon leurs besoins pour conserver un état satisfaisant tout au cours de l'hivernage. Avec les vaches rentrées en mauvais état, l'objectif de note de 2,5 ne peut pas être atteint

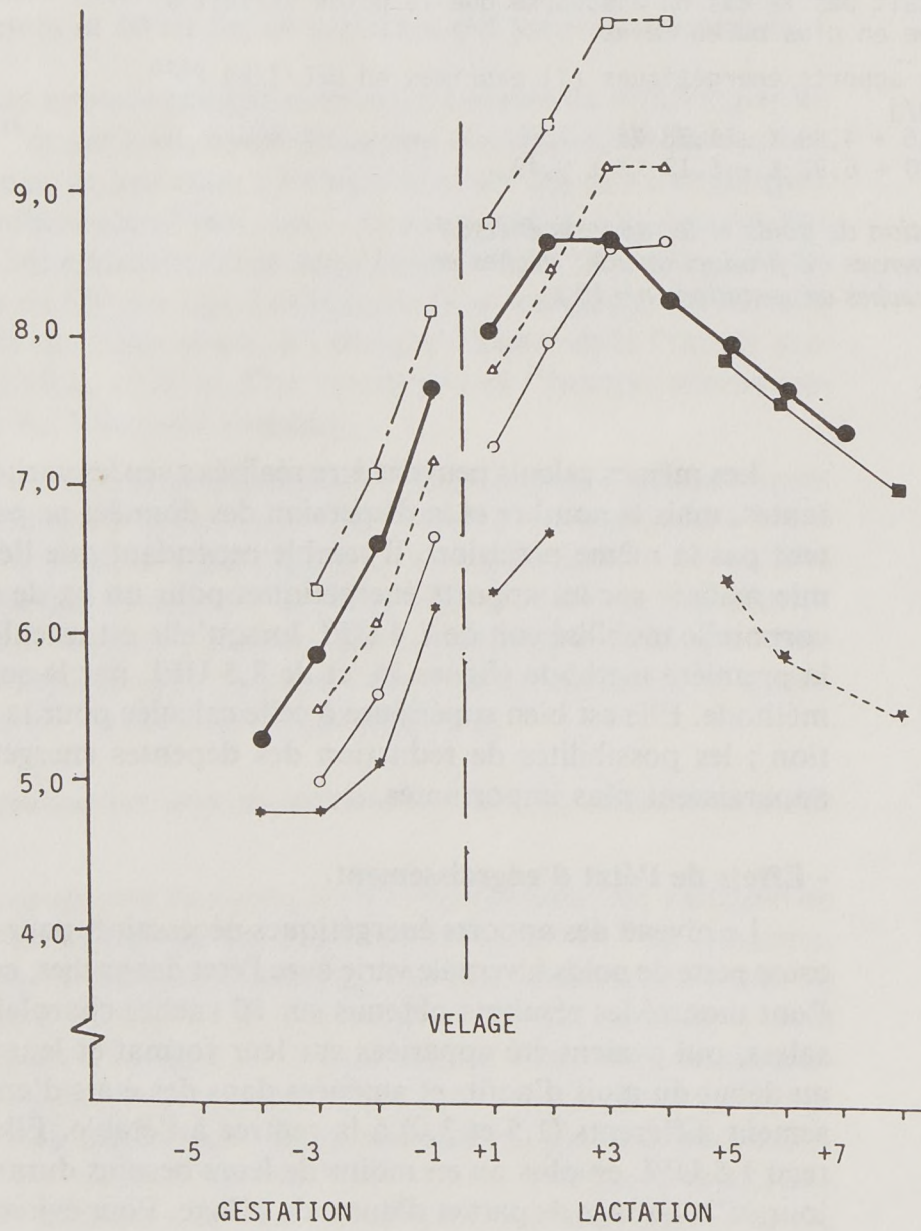


FIG. 3 : *Apports énergétiques recommandés dans différentes situations (vache de 650 kg produisant un veau de 45 kg puis 7 kg de lait par jour).*

En gestation, la relation précédente, testée sur 6 autres résultats moyens (de 7 à 15 vaches), a permis de prévoir la quantité de foin ingérée de manière très satisfaisante ($r = 0,81$; $P < 0,05$), avec cependant un coefficient de variation de 10 %, correspondant à 1,1 kg de MS environ. De même, la relation proposée pour le 2e mois de la lactation donne globalement satisfaction, bien que les importances relatives du poids vif, de la production laitière et du terme constant puissent varier dans une large mesure (PETIT *et al*, 1987a) ; en particulier, selon les essais, la variation de la CI par kg de lait produit en plus ou en moins, calculée entre vaches, va de 0,24 à 0,33 UEB (0,20 à 0,31 kg de MS).

Cependant, la prévision des quantités ingérées à partir du poids est tout aussi précise lorsqu'elles sont rapportées au poids vif avec un exposant 1,0 (PETIT *et al*, 1987a, pour des vaches taries gestantes) ou un exposant 0,9 (AGABRIEL *et al*, 1987, pour des génisses et vaches taries) au lieu du poids métabolique. Nous avons donc exprimé les relations précédentes, en utilisant le poids vif, et des coefficients simplifiés identiques pour la gestation et la lactation :

- 8e mois de la gestation : $CI = 1,5\ (PV/100) + 3,2$ (1)
- 2e mois de la lactation : $CI = 1,5\ (PV/100) + 0,3\ PL + 3,2$ (2)

Ces relations sont utilisables pour des poids vifs de 450 à 750 kg et des productions laitières journalières de 4 à 10 kg.

La variation de la CI autour du vêlage a été calculée à partir des évolutions des quantités ingérées de différents fourrages secs décrite par PETIT *et al* (1987a). Elle correspond à la valeur moyenne des UEB "ingérées" à chaque stade. Elle ne peut donc pas refléter les différences observées dans la vitesse d'accroissement des quantités ingérées après vêlage, d'autant plus rapide que les fourrages sont plus ingestibles. Au-delà du 3e mois de lactation qui correspond en moyenne à la CI maximale, nous avons admis que la CI diminuait légèrement avec l'avancement de la lactation, au rythme de la diminution de la production laitière, en adoptant le coefficient de 0,3 UEB par kg de lait de la relation 2.

- Ajustements à différents types d'animaux

Pour des vaches de même format, leur CI dépend de leur état d'embonpoint ; son effet dépressif est bien connu chez les animaux en cours d'engraissement et a déjà été observé chez les vaches laitières taries ou en lactation (BINES *et al*, 1969, GARNSWORTHY et TOPPS, 1982). Les valeurs précédentes avaient été établies avec des vaches dans un état moyen, proche de 2,5 sur 5, et doivent donc être ajustées en fonction de l'état. Ainsi des vaches charolaises adultes, pesant 680 kg à la mi-été, ont été amenées dans un état noté 3,2 (équivalent à 720 kg après vêlage) ou 1,6 (équivalent à 650 kg) à la rentrée à l'étable. Des semaines -8 à -3 avant la mise bas, la différence de quantité de foin ingérée entre les deux types de vaches était de 16,1 % par rapport à la moyenne, soit l'équivalent de 2,2 UEB pour des vaches de ce format (680 kg à la note 2,5). Rapporté au 100 kg de poids vif, la CI varie donc de $(2,2/6,8) / 1,6 = 0,20$ UEB par point de note, valeur supposée constante quel que soit l'état de part et d'autre de la note 2,5. De même, les quantités de foins ingérées par des vaches Salers au cours du 2e mois de la lactation ont différé de 10,4 % ($P < 0,05$) selon qu'elles étaient en état satisfaisant (2,7 sur 5) ou en mauvais état (1,1 sur 5), soit 0,15 UEB par point d'état et par 100 kg de poids vif. Nous avons admis que cette valeur restait la même quel que soit le stade de lactation, bien qu'il soit probable que les quantités ingérées par les vaches maigres augmentent jusqu'à un stade plus avancé.

La capacité d'ingestion des primipares est inférieure de 15 à 20 % à celle des adultes, aussi bien à la fin de la gestation qu'au début de la lactation (D'HOUR et PETIT, non publié). Cette différence n'est plus que de 10 % par rapport à des multipares de même poids, de même niveau de production et dans un état comparable. Cela est en accord avec les valeurs observées sur vaches laitières (FAVERDIN *et al*, 1987) et sur génisses en croissance de même poids et de même race (TROCCON, 1987). Cependant, la CI des primipares, limitée par le développement progressif des compartiments digestifs, augmente lentement après vêlage, et s'accroît tout au cours de la lactation. Ainsi des primipares salers ayant vêlé au début du mois de septembre ont consommé au cours du 3e mois de la lactation (560 kg de poids vif et 6 kg de lait/jour) 12,4 kg de MS d'une ration mixte de foin et d'ensilage d'herbe de très bonnes qualités, et au 8e mois (610 kg et 4 kg de lait) 14,2 kg de MS de la même ration. Leur CI est passée de 13,1 à 15 UEB ! Nous avons admis que 8 à 9 mois après le premier vêlage, elle devait être au plus identique à celle d'une vache multipare de même poids en 2e mois de lactation (7,5 kg de lait par jour), soit 14,6 UEB. Elle reste cependant supérieure de 1 UEB environ à la CI de cette même multipare à la fin de sa lactation ; cela pourrait être attribué aux besoins de croissance des toute jeunes vaches, mais demanderait à être confirmé.

Enfin, la CI des vaches allaitantes varie avec leur race. A la suite des résultats obtenus par AGABRIEL *et al* (1987) simultanément sur des génisses et vaches taries Pie-noires, Salers et Limousines, des données regroupées par PETIT *et al* (1987a), et des comparaisons réalisées par D'Hour et PETIT (non publié), nous avons adopté provisoirement les valeurs suivantes, exprimées par rapport à la CI des vaches charolaises : limousines -8 à -10 % ; vaches de races laitières utilisées comme allaitantes : $+10$ à $+12$ %. Ces valeurs s'entendent pour un même poids, un même état et une même production laitière. En première approximation, la CI des vaches des races rustiques est, toutes choses égales par ailleurs, proche de celle des vaches charolaises. La CI des autres types de vaches utilisées en France mériterait d'être précisée.

Conclusion

Les recommandations pour l'alimentation hivernale du troupeau de vaches allaitantes cherchent à réduire les dépenses alimentaires, tout en restant compatibles avec une production des veaux normale et régulière. Elles mettent l'accent sur l'importance de l'état des vaches à la rentrée à l'étable, soulignant ainsi que le troupeau allaitant est avant tout consommateur d'herbe verte.

Ces recommandations comportent une certaine marge de sécurité, en partie parce que l'appréciation de l'état corporel reste délicate, ainsi parfois que celle de la valeur alimentaire des fourrages disponibles. Elle concernent cependant des animaux en bonne santé et ne tolèrent pas de déséquilibres de la ration pour les apports azotés, minéraux et vitaminiques.

Le niveau d'alimentation constaté dans certains élevages peut être bien inférieur à celui qui est proposé ; la sanction possible est rarement immédiate, les risques encourus concernant surtout la reproduction du troupeau. Mais il est heureusement possible de compenser au moins en partie les erreurs alimentaires ou les aléas annuels en modifiant partiellement la conduite

aisément au début de la période de reproduction ; c'est pourquoi les apports énergétiques, supérieurs aux besoins dès le début de l'hivernage, s'élèvent encore au cours du 3e mois de lactation pour qu'il soit le plus élevé possible en période de monte ; cela correspond d'ailleurs à l'accroissement de la capacité d'ingestion après vêlage.

Les vaches vêlant à la fin de l'été ou en automne sont nourries du début de l'hivernage jusqu'à la fin de la période de monte comme le sont les précédentes à la fin de l'hivernage. Au-delà, les vaches sont sous-alimentées ou non selon leur état, jusqu'à -1,5 UFL par jour pour celles qui sont en bon état (figure 3), sans que la croissance de leurs veaux soit compromise s'ils disposent d'une alimentation complémentaire.

Les apports azotés ont tout d'abord été calculés selon les besoins stricts (déterminés par la méthode factorielle) pour les vaches dont les apports énergétiques devaient être identiques à leurs dépenses. Dans les autres cas, nous avons conservé le même rapport PDI/UFL à chaque stade physiologique. Il a été ensuite vérifié que le déficit cumulé en PDI restait proche ou inférieur à 10 kg à l'échelle d'un hivernage de 5 mois. Cependant, ce déficit calculé est de 20 kg pour les vaches en bon état vêlant peu avant la mise à l'herbe ; leur production laitière est suffisante au tout début de la lactation et elles retrouvent rapidement un niveau d'alimentation élevé au pâturage. Enfin, bien que les possibilités d'épargne azotée (recyclage de l'urée, réduction du renouvellement des protéines corporelles...) soient difficilement quantifiables, il est vraisemblable qu'elles sont plus importantes chez des animaux à faible besoins comme les vaches à viande, surtout pendant la période sèche.

2. Variations tolérées de poids vif

Les variations tolérées de masse corporelle ont été établies à partir des relations entre l'énergie disponible pour l'entretien et la perte de poids (figure 2), pour les vaches en bon état. Si elles sont en mauvais état, la même variation journalière de masse corporelle est obtenue avec 1,5 UFL de moins. Pour les états moyens, on a choisi la valeur intermédiaire. Ces modifications de masse corporelle ont permis de valider des objectifs d'états proposés, en supposant que 40 kg correspondent dans tous les cas à un point de note d'état (CHILLIARD *et al*, 1987).

Le tableau 7, établi pour différents états à la rentrée à l'étable et époques de vêlage, donne les variations de masse corporelle correspondant à l'énergie alimentaire ainsi épargnée à l'échelle de l'hiver. Les pertes tolérées de poids vif en découlent, en admettant une augmentation de 10 kg du poids du contenu digestif et en calculant le poids du contenu utérin au début de l'hivernage. Suivant les cas, elles représentent de 0 à 11 % du poids vif après le vêlage.

3. Capacité d'ingestion

La vache allaitante dispose généralement avant tout de fourrages de qualité moyenne à médiocre, dont la valeur d'encombrement est élevée, qu'elle doit cependant être capable de consommer en quantité suffisante.

- Lois et équations générales

La capacité d'ingestion (CI) des vaches allaitantes, comme celle des autres animaux, dépend en premier lieu de son état physiologique : quels que soient les fourrages offerts, les quantités ingérées sont minimales autour du vêlage et augmentent rapidement au-delà, jusqu'à un plateau atteint d'autant plus rapidement que le fourrage est plus ingestible (PETIT, 1978 ; PETIT *et al*, 1987a). Pour un état physiologique donné, la CI augmente surtout avec le format et le niveau de production laitière ; ces deux facteurs prépondérants étaient déjà exprimés dans les équations de prédictions de la CI proposées dans l'ouvrage sur l'Alimentation des Ruminants en 1978, puis par JARRIGE *et al* (1979).

Ces équations, établies à partir de quantités ingérées de foins dont la valeur d'encombrement moyenne (1,22 UEB par kg de MS) est la même qu'en 1978, restent valables :
- au 8e mois de la gestation :
$CI = 0{,}090\ PV^{0,75} + 1{,}46\ (\pm 1{,}06)$
- au 2e mois de la lactation :
$CI = 0{,}083\ PV^{0,75} + 0{,}244\ PL + 2{,}52\ (\pm 1{,}18)$
où PV (kg) est le poids vif après vêlage et PL (kg) la production laitière journalière. La CI est exprimée en UEB plutôt qu'en UEL ; c'est en effet l'UEB qui reflète le mieux l'effet de la digestibilité des foins sur les quantités volontairement ingérées par les vaches allaitantes (PETIT *et al*, 1987a).

TABLEAU 7

Composition de la perte hivernale de poids vif en fonction de la date de vêlage et de l'état à la rentrée à l'étable (exemple d'une vache de 650 kg - Durée de l'hiver 100 jours)

Vêlages précoces: vêlage au moins 2 mois avant la mise à l'herbe. Mise à la reproduction à l'étable à une note comprise entre 2,0 et 2,5 sur 5

-Etat initial à la rentrée à l'étable-	Variations de masse corporelle (kg)	Variations de contenu(1) (kg)	Variations foetus(2) (kg)	Variations de poids vif (kg)	Energie Alimentaire Epargnée(4) (UFL)
Bon > 3,5	-37	+ 10	- 40	-67	245
Moyen 2,0-3,0	-15	+ 10	- 40	-45	100
Mauvais < 2,0	+20	+ 10	- 40	-10	-107

Vêlages tardifs: vêlages au plus 1,5 mois avant la mise à l'herbe. Mise à la reproduction à l'herbe à une note comprise entre 1,5 et 2,0 sur 5

Variations de masse corporelle (kg)	Variations de contenu(1) (kg)	Variations foetus(3) (kg)	Variations de poids vif (kg)	Energie Alimentaire Epargnée(4) (UFL)
-44	+ 10	- 20	-54	306
-23	+ 10	- 20	-33	161
0	+ 10	- 20	-10	0

(1) correspond à l'augmentation de contenu digestif liée au stade physiologique
(2) correspond à un foetus de 17 kg à 7 mois de gestation et 23 kg de liquides, d'enveloppes et d'utérus
(3) correspond à un foetus de 5 kg à 4 mois de gestation et 15 kg de liquides, d'enveloppes et d'utérus
(4) par rapport à une vache à poids constant, qui recevrait 1,35 UFL/jour de plus que les besoins théoriques

du troupeau : par exemple en complémentant les veaux pour pallier le déficit d'herbe ou de lait, en les sevrant plus tôt pour améliorer l'état des vaches à la rentrée à l'étable, ou en augmentant la vitesse de renouvellement du troupeau avec des génisses vêlant tôt pour maintenir la date moyenne de vêlage.

Références bibliographiques

AGABRIEL J., D'HOUR P., PETIT M., 1987. Influence de l'âge et de la race sur la capacité d'ingestion des femelles bovines. 2e Journées de Recherches sur la Nutrition des Herbivores, Paris. Reprod. Nutr. Dévelop., 27 (1B), 21-22.

AGABRIEL J., GIRAUD J.M., 1988. Contenu ruminal de la vache charolaise : influence d'une brusque variation du niveau alimentaire. 3e Journées de Recherche sur la Nutrition des Herbivores, Paris. Reprod. Nutr. Dévelop., 28 (1), 109-110.

AGABRIEL J., GIRAUD J.M., PETIT M., 1986. Détermination et utilisation de la note d'état d'engraissement en élevage allaitant. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 66, 43-50.

BAKER R.D., LEDU Y.L.P., BARKER J.M., 1982. The influence of winter nutrition, grazing system and stocking rate on the performance of spring-calving Hereford × Friesian cows and their calves. Grazing system and stocking rate. Anim. Prod., 34, 225-237.

BINES J.A., SUZUKI S., BALCH C.C., 1969. The quantitative significance of long term regulation of food intake in the cow. Brit. J. Nutr., 23, 695-704.

BLAXTER K.L., WAINMAN F.W., 1966. The fasting metabolism of cattle. Br. J. Nutr., 20, 103-111.

CHILLIARD Y., REMOND B., AGABRIEL J., ROBELIN J., VERITE R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bull. techn. CRZV Theix INRA, 70.

DOREAU M, LOMRI A.J., ADINGRA K., 1986. Influence d'un faible niveau d'ingestion sur la digestion et le comportement alimentaire chez la vache recevant un régime très digestible. Reprod. Nutr. Dévelop., 26(1B), 329-330.

ES A.J.H. Van, 1975. Feed evaluation for dairy cows. Livest. Prod. Sci., 2, 95-107.

FAVERDIN Ph., HODEN A., COULON J.B., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches laitières. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 70.

FERREL C.L., JENKINS T.G., 1984. A note on energy requirements for maintenance of lean and fat Angus, Hereford and Simmental cows. Anim. Prod., 39, 305-309.

GAREL J.P., PETIT M., AGABRIEL J., 1988. Alimentation hivernale des vaches allaitantes en zone de montagne. INRA. Prod. Anim., 1 (sous presse).

GARNSWORTHY P.C., TOPPS J.H., 1982. The effect of body condition of dairy cows at calving on their food intake and performance when given complete diets. Anim. Prod., 36, 113-119.

GARRET W.N., 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. J. Anim. Sci., 32, 451-456.

GEAY Y., MICOL D., ROBELIN J., BERGE Ph., MALTERRE C., 1987. Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 70.

GUNN R.G., 1983. The influence of nutrition on the reproductive performance of ewes. In : "Sheep Production". Ed. W. Haresign, pp. 99-110. London, Butterworths.

HARESIGN W., 1984. Undefeeding and reproduction : physiological mechanisms. In "Reproduction des ruminants en zone tropicale, Point-à-Pitre (F.W.I.), 8-10 juin 1983". Ed. INRA Publ. (Les Colloques de l'INRA, n° 20.

HODGSON J., PEART J.N., RUSSEL A.J.F., WHITELAW A., Mac DONALD A.J., 1980. The influnce of nutrition in early lactation on the performance of spring-calving suckler cows and their calves. Anim. Prod., 30, 315-325.

HOHENBOKEN W.D., HAUSER E.R., CHAPMAN A.B., CUNDIFF L.V., 1972. Partitioning lactation TDN consumption in Hereford cows between maintenance, gain and milk production. J. Anim. Sci, 34, 152-160.

HUGHES J.H., STEPHENS D.F., LUSBY K.S., POPE L.S., WITHEMAN J.V., SMITHSON L.J., TOTUSEK R., 1978. Long-term effects of winter supplement on the productivity of range cows. J. Anim. Sci., 47, 816-827.

JARRIGE R., 1974. Bases physiologiques de l'alimentation des vaches allaitantes. In "L'exploitation des troupeaux de vaches allaitantes", Suppl. Bull. Techn. CRZV Theix INRA, N° spécial, 323-345.

JARRIGE R., DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., HODEN A., JOURNET M., BERANGER C., GEAY Y., MALTERRE C., PETIT M., ROBELIN J., 1979. Le système des unités d'encombrement pour les bovins. Bull. Techn. CRZV Theix INRA, 38, 57-79.

KILKENNY J.B., 1978. Reproductive performance of beef cows. World Rev. Anim. Prod., 14 (3), 65-74.

LAMOND D.R., 1970. The effect of undernutrition on reproduction in the cow. Anim. Breed. Abstr., 38, 359-372.

LEBLANC F., PETIT M., GAREL J.P., 1983. Le troupeau de vaches allaitantes au pâturage : influence du chargement à différentes périodes. Bull. Techn. CRZV Theix INRA, 51, 57-62.

LEMENAGER R.P., NELSON L.A., HENDRIX K.S., 1980. Influence of cow size and breed type on energy requirements. J. Anim. Sci., 51, 566-576.

LIENARD G., PETIT M., 1987. Suckled cows as alternative to dairy cows : How to increase their value. In "Consequences of milk quotas and alternative animal enterprises, EEC Seminar, Dublin, 1986". J.F. O'GRADY Ed., Commission of the European Communities, Agriculture series. L-2985 Luxembourg.

LOWMAN B.G., SCOTT N.A., SOMMERVILLE S.H., 1976. Condition scoring of cattle (Revised edition). East of Scotland College of Agriculture, Bull. N° 6.

MARSTON H.R., 1948., cité par MITCHELL H.H., 1962. In "Comparative Nutrition of Man and Domestic animals". Academic Press Inc. (London) LTD., Berkeley Square House. Berkeley Square, London, W.1.

NEVILLE W.E. Jr, 1974. Comparison of energy requirements of nonlactating and lactating Hereford cows and estimates of energetic efficiency of milk production. J. Anim. Sci., 38, 681-686.

PELOT J., DE FONTAUBERT Y., CHUPIN D., TERQUI M., 1984. Management of reproduction in cattle : ovarian activity, hormonal treatments and fertility. In "The reproduction potantial of cattle and sheep. Rohovot (Israel), 21-23 Febr. 1984". Ed. INRA Publ. (Les Colloques de l'INRA, n° 27).

PETIT M., 1978. Vaches nourrices. In "Alimentation des Ruminants", Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr) 78000 Versailles, pp. 377-402.

PETIT M., 1979. Effet du niveau d'alimentation à la fin de la gestation sur le poids à la naissance des veaux et leur devenir. Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys., 19, 277-287.

PETIT M., 1988. Alimentation des vaches allaitantes. In R. Jarrige éd. "L'alimentation des bovins, ovins et caprins", INRA Publ. Paris.

PETIT M., GAREL J.P., 1981. The effect of underfeeding in early lactation on the performances of suckled cows. In "Report on suckler cow workers meeting, Dunsany, Ireland, 1981". Noble and MacLeod ed., Adas.

PETIT M., GAREL J.P., GRENET N., 1987(a). Utilisation des foins et pailles par le troupeau de vaches allaitantes. In C. Demarquilly Ed., Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation. INRA, Paris, pp 361-389.

PETIT M., GAREL J.P., MICOL D., 1987(b). Conduite du troupeau de vaches allaitantes au pâturage : quelques éléments de réfléxion. In D. Micol Ed., Forum Fourrages Auvergne 86.

PETIT M., MICOL D., 1981. Evaluation of energy requirements of beef cows during early lactation. Livest. Prod. Sci., 8, 139-153.

PINNEY D.O., STEPHENS D.F., POPE L.S., 1972. Lifetime effects of winter supplemental feed level and age at first parturition on range beef cows. J. Anim. Sci., 34, 1067-1074.

ROBELIN J., AGABRIEL J., 1986. Estimation de l'état d'engraissement des bovins vivants à partir de la taille des cellules adipeuses. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 66, 37-41.

ROBELIN J., GEAY Y., 1978. Estimation de la composition chimique du corps entier à partir du poids des dépôts adipeux. Ann. Zootech., 27, 159-167.

RUSSEL A.J.F., WRIGHT I.A., 1983. Factors affecting maintenance requirements of beef cows. Anim. Prod., 37, 329-334.

TAYLOR St C.S., TURNER H.G., YOUNG R.A., 1981. Genetic control of equilibrium maintenance efficiency in cattle. Anim. Prod., 33, 179-194.

TROCCON J.L., 1987. Recommandations alimentaires pour les veaux et génisses d'élevage. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 70.

VERMOREL M., 1978. Energie. In "Alimentation des Ruminants". Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr), 78000 Versailles, pp. 47-88.

VERMOREL M., BOUVIER C., GEAY Y., 1976. The effect of the genotype (normal and double muscle Charolais and Friesian) on energy utilisation by growing cattle at 2 and 16 months of age. In : Proc. 7th Symp. Energy Metabolism of Farm Animals, Vichy, 217-220. Ed. M. Vermorel, E.A.A.P. Pub n° 19.

WILTBANK J.N., ROWDEN W.W., INGALLS J.E., ZIMMERMAN D.R., 1964. Influence of postpartum energy level on reproductive performance of Hereford cows restricted in energy intake prior to calving. J. Anim. Sci., 23, 1049 1053.

YOUDAN P.G., KING J.O., 1977. The effect of body weight changes on fertility during the post-partum period in the dairy cow. Br. Vet. J., 133, 635-641.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 167-172

Recommandations alimentaires pour les veaux et génisses d'élevage

J.L. TROCCON

INRA-St-Gilles, Station de Recherches sur la Vache laitière, 35590 L'Hermitage.

Le terme «veaux d'élevage» correspond aux mâles et aux génisses issues des troupeaux laitiers, de la naissance au poids vif de 150 kg, soit 4 à 6 mois d'âge, période couvrant les phases d'allaitement, de sevrage et de postsevrage. Le terme «génisses d'élevage» correspond aux femelles issues des troupeaux laitiers ou allaitants entre les poids vifs de 150 et 550 kg mais dont le stade de gestation inférieur à 6 mois ne justifie pas de besoin particulier.

I. Apports alimentaires recommandés

1. Apports énergétiques

1.1. Génisses d'élevage

Les apports énergétiques recommandés (TROCCON et AGABRIEL, 1988) ont été calculés par une méthode analytique additionnant les besoins d'entretien aux quantités d'énergie (lipides et protéines) fixées dans le croît selon le modèle décrit par GEAY *et al.* (1987, dans ce numéro).

Les apports énergétiques calculés sont :

— identiques à l'entretien pour les génisses d'élevage de toutes races (0,044 UFL par kg de poids métabolique),

— peu différents quels que soient la race et le croît jusqu'aux poids vifs de 300 à 350 kg,

— plus élevés (+ 12 p. 100 à 550 kg et 1000 g/j) pour les génisses laitières au-delà du poids de 350 kg et pour des gains de poids supérieurs à 600 g/j. Elles ont en effet tendance à s'engraisser plus rapidement (précocement) que les génisses issues des troupeaux allaitants lorsque le poids vif et le gain de poids vif augmentent (figure 1).

Par rapport à 1978, l'apport énergétique recommandé à l'entretien est réduit de 10 p. 100. Aux gains de poids vif de 600 à 700 g/j, les apports énergétiques recommandés ne sont pas modifiés.

Vérification : principe

Pour valider ces recommandations obtenues par simulation, une vérification a été entreprise à partir des performances des génisses effectivement enregistrées dans des essais d'alimentation. Le principe a été de mettre en relation la quantité d'énergie ingérée (UFL) avec le besoin d'entretien (poids métabolique) et la valeur calorifique du croît qui est fonction de celui-ci et du poids vif de l'animal. La relation a été mise sous la forme : Energie ingérée/$P^{0,75}$ = a + b $G^{1,4}$, où P est le poids vif et G le gain de poids vif. L'exposant 1,4 prend en compte l'accroissement de la quantité d'énergie fixée avec le gain de poids vif (GEAY *et al.*, 1978).

Les essais d'alimentation utilisés ont été réalisés depuis 1975 dans les domaines expérimentaux de l'INRA sur des lots de 5 à 15 génisses issues des troupeaux laitiers ou allaitants. Ils ont eu lieu uniquement pendant les périodes hivernales de sorte que les observations recouvrent essentiellement les tranches d'âge du sevrage à 6 mois, de 12 à 18 mois et de 21 à 27 mois, et de poids vif de 50 à 550 kg. Les génisses sont allées au pâturage en été. Elles sont surtout de race Pie-Noire (Frisonne puis Holstein) mais aussi de races Normande, Montbéliarde, Charolaise, Salers et Limousine. Les rations distribuées aux génisses sont surtout à base d'ensilage de maïs (Rennes et Theix) mais aussi d'ensilage d'herbe (Orcival, Le Pin au Haras, Mirecourt) et de foin (Marcenat, Laqueuille) avec ou sans aliment concentré.

Les quantités ingérées étaient mesurées chaque semaine et les génisses pesées régulièrement. Les données ont été compilées par mois calendaire de sorte que le fichier a regroupé 473 informations mensuelles concernant la quantité d'énergie ingérée par jour (UFL), le poids vif et le gain de poids vif. Les valeurs moyennes correspondant aux quantités d'UFL ingérées par kg de poids métabolique et au gain de poids ($GPV^{1,4}$) ont été respectivement 0,070 et 0,73 au lieu de 0,059 et 0,37 en 1978 (GEAY *et al.*, 1978). Les consommations et le croît ont donc été nettement accrus depuis 1978.

Vérification : résultats

Considérant que la quantité d'énergie ingérée et le gain de poids vif sont interdépendants, nous avons choisi de décrire la

relation entre les deux paramètres par son axe principal. L'équation obtenue est la suivante :

$$y = 0{,}040 + 0{,}0415\ x \qquad (n = 473,\ r = 0{,}56) \qquad (1)$$

Les apports énergétiques pour les génisses doublent entre l'entretien et le gain de poids vif de 1 kg par jour. La comparaison des apports énergétiques recommandés aux valeurs obtenues à partir des essais d'alimentation (figure 1) montre que :

— l'apport énergétique à l'entretien pourrait encore être réduit de 10 p. 100 (20 p. 100 par rapport à 1978) plus conformément à cette dépense mesurée en chambre respiratoire,

— pour les génisses issues des troupeaux laitiers (précoces), les valeurs sont très voisines à tous les poids vifs pour les gains de poids vif préconisés (200 ou 400 à 1000 g/j),

— pour les génisses issues des troupeaux allaitants (tardives), les différentes sont plus sensibles aux poids vifs égaux ou supérieurs à 350 kg et aux gains de poids vif les plus élevés (800 à 1000 g/j). Les apports énergétiques recommandés sont jusqu'à 12 p. 100 plus faibles (à 550 kg et 1000 g/j) mais le fichier de travail n'incluait pas de gains de poids vif aussi élevés pour des génisses de ces poids vifs.

Cependant, ces apports énergétiques recommandés ne prennent pas en compte les éventuelles possibilités de croissance compensatrice.

1.2. Veaux d'élevage

La relation précédente (1) permet le calcul d'apports énergétiques recommandés pour les génisses d'élevage sevrées de moins de 150 kg issues des troupeaux laitiers. Cependant, la relation (2) établie selon le même principe à partir de femelles d'un poids vif inférieur à 200 kg a été retenue pour évaluer les apports énergétiques recommandés aux veaux d'élevage (mâles et génisses) sevrés :

$$y = 0{,}042 + 0{,}0435\ x \qquad (n = 205,\ r = 0{,}40) \qquad (2)$$

Cette estimation est concordante avec celle retenue pour les génisses plus âgées (figure 1) et pour les mâles (figure 2) au poids vif de 200 kg et aux gains de poids vif préconisés (600 à 1000 g/j), ce qui nous conduit à l'appliquer à tous les veaux d'élevage.

La relation (3) a été établie pour les génisses non sevrées comme les relations (1) et (2) :

$$y = 0{,}044 + 0{,}049\ x \qquad (n = 81,\ r = 0{,}34) \qquad (3)$$

où y est la quantité d'énergie ingérée par kg de poids métabolique et x le gain de poids vif élevé à la puissance 1,4. Les apports énergétiques recommandés calculés jusqu'au poids vif de 100 kg sont appliqués à tous les veaux d'élevage (mâles et génisses).

Par rapport à 1978, les apports énergétiques recommandés sont réduits au gain de poids vif de 600 g/j, identiques à 800 g/j et plus élevés à 1000 g/j.

2. Apports azotés

2.1. Evaluation

Comme pour l'énergie, les apports azotés recommandés (TROCCON et AGABRIEL, 1988) sont élaborés à partir d'un besoin d'entretien (3,25 g PDI par kg de poids métabolique ; VERITE *et al.*, 1987, dans ce numéro) et d'un besoin de croissance calculé à partir d'une quantité fixée de protéines dans le croît en tenant compte d'un rendement d'utilisation métabolique des PDI pour la croissance.

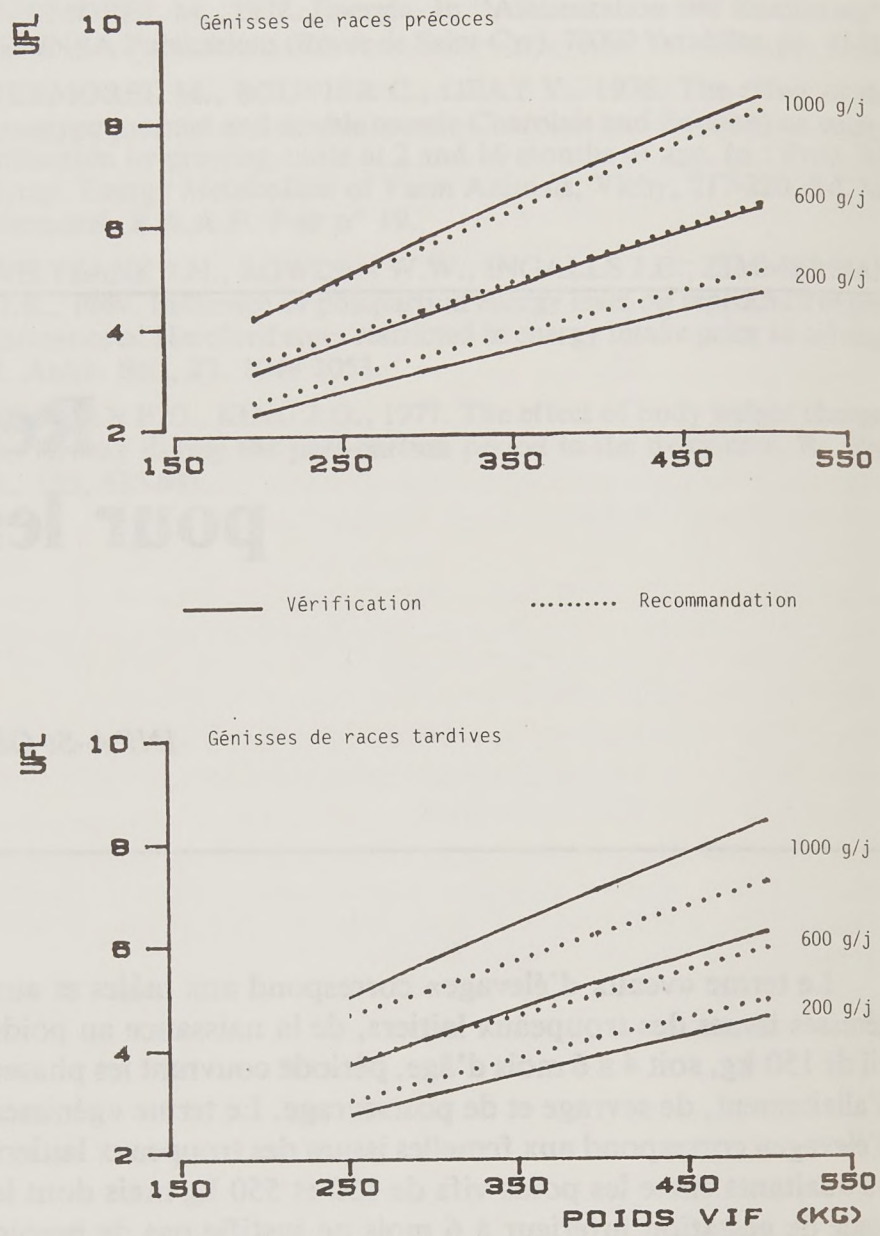


FIG. 1 : *Apports énergétiques recommandés pour les génisses d'élevage et leur vérification.*

La quantité de protéines fixées dans le croît dépend du sexe, de la race, du poids vif et du gain de poids vif. Elle a fait l'objet d'une modélisation permettant d'évaluer la composition du croît à partir de résultats d'abattage (GEAY *et al.*, 1987, dans ce numéro). Les mâles fixent plus de protéines que les génisses de même race et les génisses issues des troupeaux allaitants (tardives) plus que celles des troupeaux laitiers (précoces) à poids vif et à gain de poids vif égaux. Cependant, les différences sont négligeables jusqu'au poids vif de 150 kg. Elles augmentent ensuite pour atteindre 25 p. 100 entre les mâles et les génisses de race laitière et 50 p. 100 entre les génisses de race précoce et de race tardive au poids vif de 500 kg et au gain de poids vif de 1000 g/j. Les génisses Holstein fixent 15 p. 100 environ de protéines dans le gain de poids vif (800 à 1000 g/j) entre les poids vifs de 180 et 335 kg (17 à 19 p. 100 dans le gain de poids vif vide) (WALDO, 1987).

Le rendement d'utilisation métabolique des PDI pour la croissance (GEAY *et al.*, 1987 dans ce numéro) est de 68 p. 100 au poids vif de 150 kg ; cette valeur a été appliquée aux veaux d'élevage (mâles et génisses) sevrés au lieu de 65 p. 100 en 1978. Ensuite, il diminue avec le poids vif mais est plus élevé pour les génisses issues des troupeaux allaitants (tardives) que pour celles des troupeaux laitiers (précoces). Il est supérieur à celui retenu en 1978 (60 p. 100) jusqu'aux poids vifs de 300 kg (races précoces) et de 400 kg (races tardives) (AGABRIEL et PETIT, 1987, dans ce numéro).

Pour les veaux d'élevage non sevrés (jusqu'à 100 kg), les apports azotés recommandés sont évalués en considérant le veau comme un préruminant et en admettant une teneur optimale en protéines digestibles (très voisines des PDI) de 24 p. 100 par rapport à la matière sèche de l'aliment d'allaitement. La quantité nécessaire d'aliment d'allaitement est calculée à partir de l'apport énergétique recommandé (TOULLEC *et al.*, 1978).

2.2. Apports azotés recommandés

Les apports azotés recommandés sont uniques pour tous les veaux (mâles et génisses, figure 2) et toutes les génisses d'élevage (précoces ou tardives, figure 3). Les résultats des calculs n'ont pas mis en évidence de différences significatives de quantités de protéines fixées entre les génisses des différentes races et les mâles issus des troupeaux laitiers aux poids vifs inférieurs à 400 kg et pour des gains de poids vif inférieurs à 800 g/j. Ils sont seulement plus élevés (jusqu'à 10 p. 100) pour les génisses issues des troupeaux allaitants (tardives) qui fixent plus de protéines dans le croît aux poids vifs et aux gains de poids vif supérieurs.

Par rapport à 1978, ils sont :

— identiques pour les veaux d'élevage non sevrés ou ceux sevrés à gains de poids vif faibles,

— réduits d'environ 10 p. 100 pour les veaux d'élevage sevrés aux gains de poids vif les plus élevés (1000 g/j) et pour les génisses d'élevage de moins de 200-250 kg (figure 3),

— voisins pour les génisses d'élevage de 300-400 kg,

— accrus d'environ 10 p. 100 pour celles de 500-550 kg.

Lors de la suppression du lait, les valeurs proposées avant et après sevrage permettent de cerner les apports azotés à réaliser.

L'uniformisation et la réduction des apports azotés recommandés pour les veaux d'élevage sont conformes à nos résultats expérimentaux (TROCCON *et al.*, 1984). Cependant, l'impact sur la formulation et les teneurs en matières azotées totales des aliments concentrés sera limité par la baisse concomitante de la valeur PDIE de certaines matières premières.

La ration distribuée aux veaux d'élevage doit être équilibrée en PDI pour optimiser l'ingestion des aliments solides et la production d'ammoniaque qui concourrent au développement du rumen. Un déficit (PDIE-PDIN) de la ration est tolérable chez la génisse d'élevage âgée de plus de 4 mois dont le rumen est pleinement fonctionnel, sous réserve d'un apport de PDIE conforme à la recommandation. Pour ces génisses d'élevage dont le gain de poids vif ne dépasse pas 1000 g/j, il peut atteindre :

— 8 à 10 g par UFL jusqu'à l'âge de 1 an. Une teneur en matières azotées totales de 11,5 p. 100 dans la matière sèche est suffisante pour des génisses de 1 an recevant une ration riche en fourrages (SMITH *et al.*, 1980),

— 15 à 18 g par UFL pour les génisses de plus de 1 an. Le déficit en PDIN d'un ensilage de maïs à forte teneur en matière sèche peut n'être couvert qu'entre 20 et 40 p. 100 (TROCCON, 1980 ; TROCCON, 1983).

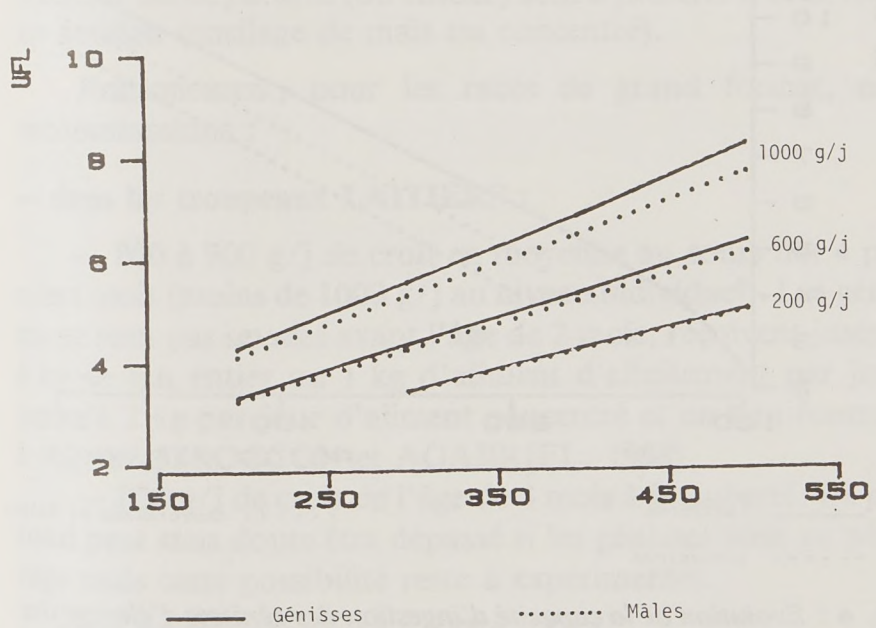


FIG. 2 : *Comparaison des apports énergétiques et azotés recommandés pour les génisses et les mâles d'élevage de races précoces.*

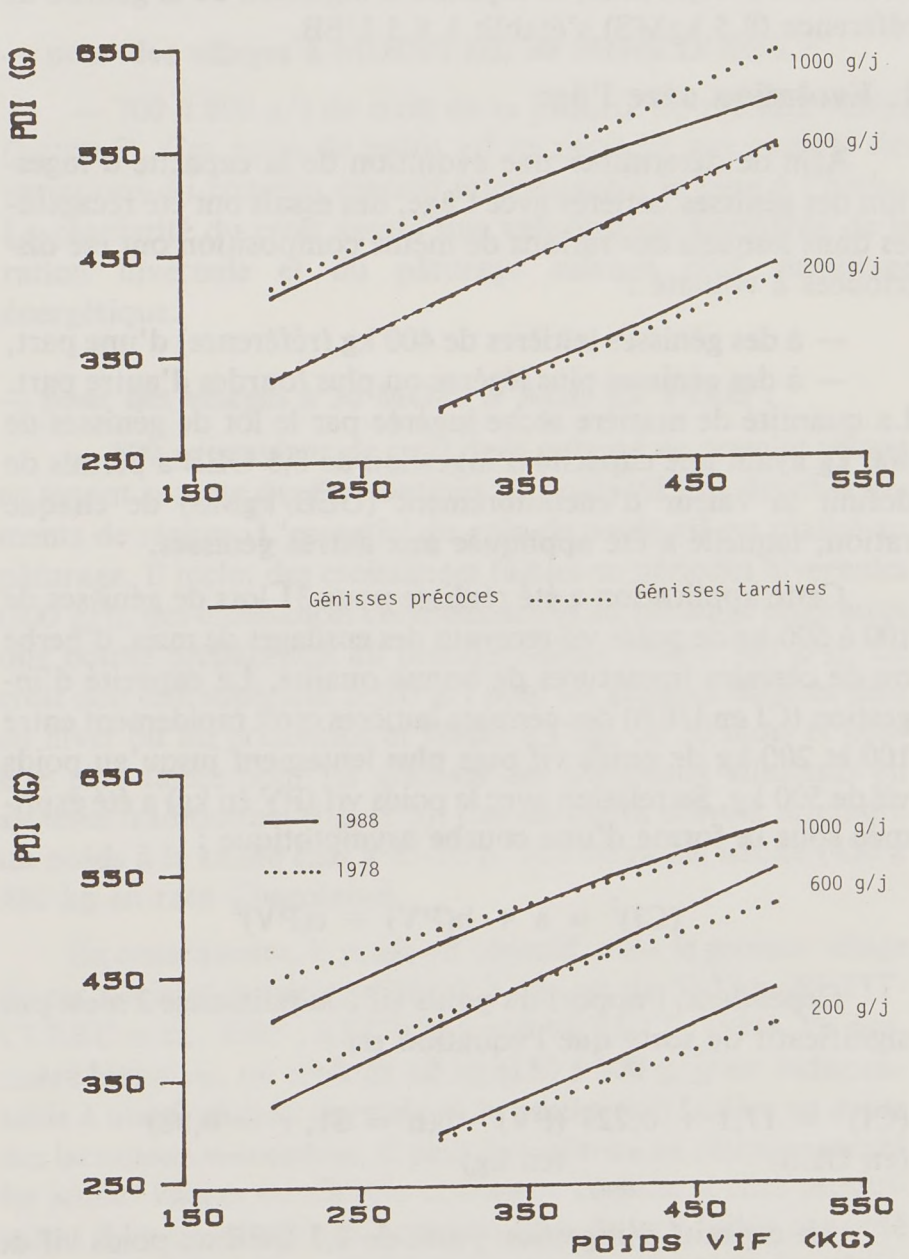


FIG. 3 : *Apports azotés recommandés pour les génisses d'élevage. Comparaison avec les recommandations 1978.*

Les apports alimentaires recommandés en calcium (Ca) et en phosphore (P) ne sont pas modifiés par rapport à 1978 car les bases du calcul n'ont subi que des modifications minimes (GUEGUEN *et al.*, 1987, dans ce numéro).

II. Capacité d'ingestion

La révision du système des unités d'encombrement (UE) a rendu nécessaire celle de la capacité d'ingestion des génisses d'élevage.

1. Détermination de l'UEB (Unité d'Encombrement Bovin)

Cette première étape (DULPHY *et al.*, 1987, dans ce numéro) a consisté à comparer les quantités ingérées d'herbe (g de matière sèche/kg de poids métabolique) par les génisses de races laitières Pie-Noire et Montbéliarde de 400 kg (QIG) et par les moutons castrés standard (QIM) :

$$QIG = 22{,}4 + 0{,}969\ QIM \qquad (n = 31,\ r = 0{,}87)$$

L'herbe de référence (1 UEM) est ingérée par les moutons à raison de 75 g de matière sèche (MS) par kg de poids métabolique (QIM). Une génisse de race laitière de 400 kg en ingère 8,5 kgMS, soit une ingestibilité QIG de 95 gMS par kg de poids métabolique. Par définition, un kg de matière sèche de cette herbe a une valeur d'encombrement de 1 UEB (Unité d'Encombrement Bovin). Ainsi, la capacité d'ingestion de la génisse de référence (8,5 kgMS) s'établit à 8,5 UEB.

2. Evolution avec l'âge

Afin de déterminer une évolution de la capacité d'ingestion des génisses laitières avec l'âge, des essais ont été récapitulés dans lesquels des rations de même composition ont été distribuées à volonté :

— à des génisses laitières de 400 kg (référence) d'une part,
— à des génisses plus légères ou plus lourdes d'autre part.

La quantité de matière sèche ingérée par le lot de génisses de 400 kg ayant une capacité d'ingestion de 8,5 UEB a permis de définir la valeur d'encombrement (UEB/kgMS) de chaque ration, laquelle a été appliquée aux autres génisses.

Cette application a été réalisée pour 31 lots de génisses de 100 à 500 kg de poids vif recevant des ensilages de maïs, d'herbe ou de céréales immatures de bonne qualité. La capacité d'ingestion (CI en UEB) des génisses laitières croît rapidement entre 100 et 200 kg de poids vif puis plus lentement jusqu'au poids vif de 500 kg. Sa relation avec le poids vif (PV en kg) a été exprimée sous la forme d'une courbe asymptotique :

$$(CI)^2 = a + b(PV) + c(PV)^2$$

Cependant, l'apport du poids vif à la puissance 2 n'est pas significatif de sorte que l'équation est :

$$(CI)^2 = 17{,}1 + 0{,}227\ (PV) \qquad (n = 31,\ r = 0{,}98)$$
(en UEB) (en kg)

La capacité d'ingestion passe de 2,5 UEB au poids vif de 100 kg, à 6,3 UEB à 250 kg et 9,8 UEB à 500 kg. Son accroissement qui est de 0,047 UEB par kg de poids vif à 100 kg n'est plus que de 0,018 à 250 kg et de 0,012 à 500 kg.

3. Influence de la race

Sur les domaines INRA de Marcenat (15) et de Laqueuille (63), les capacités d'ingestion de génisses de 1 an et de 2 ans des races Pie-Noire, Charolaise, Salers et Limousine ont été comparées simultanément. Des animaux de chaque classe d'âge ont reçu un même foin de prairie naturelle à volonté, 0 à 500 g/j de tourteau d'arachide ou de soja pour assurer l'équilibre PDIE/PDIN de la ration et 100 à 150 g/j d'un complément minéral vitaminé. Les quantités ingérées ont été mesurées quotidiennement durant 4 à 5 semaines après une période d'adaptation de 2 semaines. Les génisses ont été pesées 2 à 4 fois par période.

Dans le même temps, ces foins ont été distribués à un lot de moutons castrés standard afin d'en déterminer le coefficient de digestibilité de la matière organique. Cette dernière a permis d'estimer la valeur d'encombrement (UEB) du foin pour les génisses (DULPHY *et al.*, 1987, dans ce numéro).

D'après ces résultats, les capacités d'ingestion (figure 4) des génisses Charolaises et Salers d'une part et Limousines d'autre part sont respectivement de 7,6 et 6,7 UEB au poids vif de 400 kg soit de 11 et 21 p. 100 inférieures à celle des génisses laitières. La capacité d'ingestion des génisses Limousines est de 11 p. 100 inférieure à celle des Charolaises et des Salers. D'une façon générale, elle augmente de 0,018 UEB par kg de poids vif entre 250 et 550 kg pour tous les types de génisses.

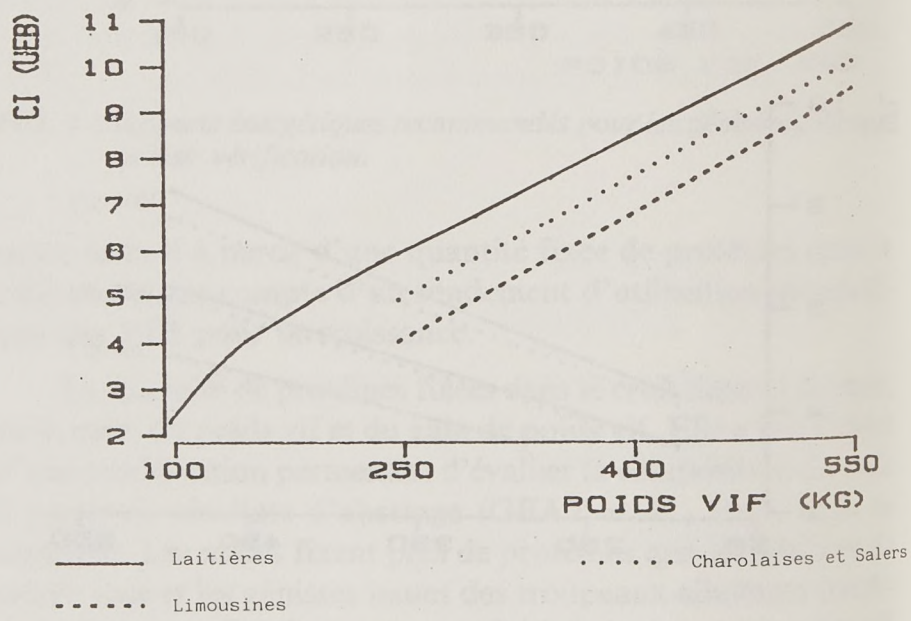


FIG. 4 : *Evolution de la capacité d'ingestion des génisses d'élevage des races de grand format.*

L'évolution de la capacité d'ingestion des génisses laitières diffère selon les deux approches. Une valeur moyenne peut être retenue car les situations diverses d'alimentation sont mieux prises en compte surtout pour les génisses les plus jeunes selon qu'elles reçoivent des fourrages de valeur nutritive élevée (ensilage de maïs très ingestible) ou modérée (foin). La supériorité des animaux d'origine laitière est bien connue (MICOL et BERANGER, 1981) et peut s'expliquer par des différences d'âge ou de développement de la panse à des poids vifs peu différents. Par ailleurs, les génisses issues des troupeaux allaitants s'adaptent à l'ingestion des fourrages au cours de l'hiver soit par un effet d'accoutumance au fourrage, soit par une réduction de l'état d'engraissement au cours de l'hiver (AGABRIEL *et al.*, 1987). Ainsi, la capacité d'ingestion des génisses peut varier jusqu'à 10 p. 100 en fonction des caractéristiques des fourrages ou des génisses.

III. Choix d'une courbe de croissance

1. Optimiser le poids vif à la puberté

La puberté est définie comme la venue des premières chaleurs. Les génisses des races laitières sont plus précoces que celles des races à viande ou allaitantes françaises. Les génisses de race Pie-Noire sont pubères à l'âge de 9-10 mois, à 40 p. 100 du poids adulte alors que les génisses Charolaises, Limousines ou Salers le sont entre 14 et 17 mois, à 55 p. 100 environ du poids adulte.

Le potentiel de croissance des génisses est maximal à la puberté. Le développement squelettique a son maximum à la naissance et le tissu musculaire a une croissance de 15 p. 100 supérieure à celle du corps vide au cours des premiers mois (ROBELIN, 1986). D'où la nécessité de ne pas limiter les apports nutritifs à cette période de la vie des génisses d'autant qu'une croissance faible dès la naissance ne donne pas lieu à croissance compensatrice. Ce phénomène est accentué dans les races à viande qui sont physiologiquement plus tardives. Par ailleurs, une croissance élevée (800 g/j) améliore la longévité des vaches des troupeaux laitiers (TROCCON, non publié).

Cependant, à partir de l'âge de 3 mois au moins chez les génisses laitières, des gains de poids vifs élevés sont à éviter s'ils conduisent à un engraissement excessif. Celui-ci a des effets néfastes sur le développement mammaire et la production laitière ultérieure (TROCCON et JOURNET, 1979). Des régimes à base d'herbe pâturée (ou ensilée) sont à préférer à ceux riches en amidon (ensilage de maïs ou concentré).

Pratiquement, pour les races de grand format, nous recommandons :

— dans les troupeaux LAITIERS :

— 800 à 900 g/j de croît en moyenne au cours des 4 premiers mois (moins de 1000 g/j au niveau individuel). Les génisses ne sont pas sevrées avant l'âge de 2 mois, reçoivent jusqu'à 8 kg de lait entier ou 1 kg d'aliment d'allaitement par jour, jusqu'à 2 kg par jour d'aliment concentré et un bon fourrage à volonté (TROCCON et AGABRIEL, 1988),

— 800 g/j de croît de l'âge de 4 mois à la puberté. Ce plafond peut sans doute être dépassé si les génisses vont au pâturage mais cette possibilité reste à expérimenter.

— dans les troupeaux ALLAITANTS :

— 900 g/j de croît de la naissance au sevrage qui intervient peu de temps avant la rentrée à l'étable. Le poids au sevrage doit être compris entre 35 et 40 p. 100 du poids adulte mais dépend en grande partie de la date de naissance. Un poids vif et un âge trop faibles au sevrage sont des handicaps pour la croissance ultérieure, compte tenu de la faible capacité d'ingestion de ces génisses,

— 500 à 600 g/j au cours du premier hiver qui précède la puberté. Ces génisses reçoivent les fourrages (foins) disponibles les plus ingestibles et les plus nutritifs pour pallier leur capacité d'ingestion réduite.

2. Maximiser le poids au premier vêlage

L'alimentation de la puberté à la première mise-bas prépare les génisses au premier vêlage et à la première lactation dont les bons déroulements conditionnent la carrière de la vache. Cet effet est sensible avec les génisses laitières à haut potentiel laitier vêlant précocement mais aussi avec celles des troupeaux allaitants soumises à des restrictions alimentaires. Un poids vif élevé au premier vêlage, sans embonpoint excessif, permet de réduire les difficultés de mise-bas et la mortalité des veaux à la naissance surtout dans le cas des races à viande de grand format. A défaut, la valeur de réforme de l'animal est plus élevé.

Cependant, la conduite alimentaire des génisses d'élevage vise à valoriser au mieux les ressources fourragères, pâturage et fourrages conservés, et à utiliser un minimum d'aliment concentré ; afin de les faire féconder à la saison ou à l'âge choisi. Les vêlages des génisses doivent précéder d'environ 3 semaines ceux des vaches.

Dans les zones de plaines disposant de bons fourrages, les génisses laitières vêlent à l'automne à des âges inférieurs à 30 mois. La phase d'élevage est réduite mais les vaches primipares nécessitent un rationnement particulier en aliment concentré pour exprimer leur potentiel laitier et poursuivre leur développement corporel.

Dans les zones pastorales plus extensives, moins riches, de plaine ou de montagne, les génisses vêlent plutôt en hiver à des âges plus proches de 3 ans. Le poids vif après le premier vêlage doit représenter 85 p. 100 environ du poids adulte afin que les génisses s'intègrent au mieux au mode de conduite et d'alimentation du troupeau de vaches plus âgées. Le maximum du croît corporel se réalise au pâturage, au printemps et au début de l'été surtout, lorsque l'herbe est abondante et de qualité.

Pratiquement, pour les races de grand format, nous recommandons :

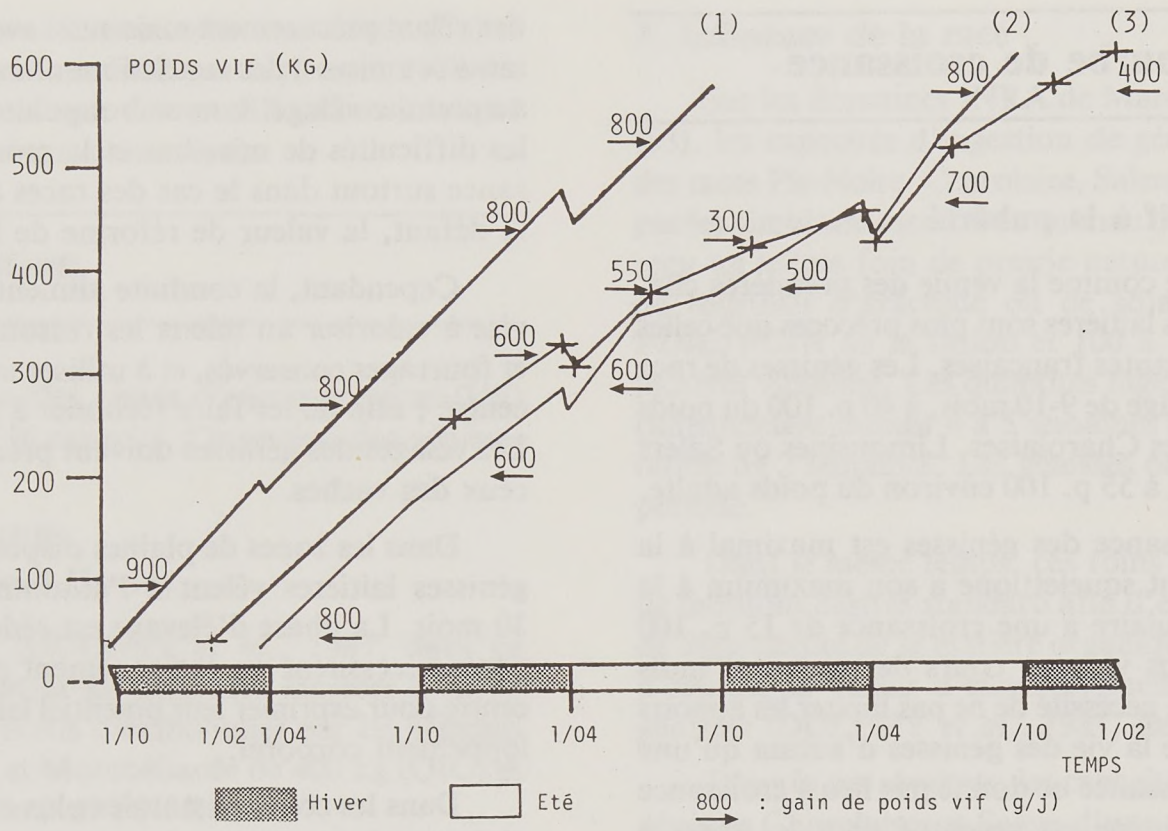
— pour des vêlages à MOINS DE 30 MOIS D'AGE :

— 700 à 800 g/j de croît de la puberté au premier vêlage (figure 5). Ces gains de poids vif ne tiennent pas compte des variations du contenu digestif intervenant à la mise à l'herbe. La régularité du croît assure une valorisation équilibrée de la ration hivernale et du pâturage suivant sans gaspillage énergétique.

— pour des vêlages à 30 MOIS D'AGE ET PLUS :

— 500 g/j environ de croît de la puberté au premier vêlage en tenant compte des fluctuations du poids vif lors des changements de régime. L'essentiel du gain de poids vif est réalisé au pâturage. Il inclut des croissances faibles en périodes hivernales (300 g/j), des croissances compensatrices au pâturage mais aussi une bonne préparation au premier vêlage (500 à 700 g/j). Le croît doit être supérieur à 500 g/j pour les génisses laitières nées en hiver ou au printemps et vêlant à l'âge de 30 mois et peut être plus faible pour les génisses des troupeaux allaitants en système traditionnel (figure 5). Ces dernières doivent atteindre un poids à la saillie égal à 65-70 p. 100 du poids adulte (450 à 480 kg en race Charolaise).

En conséquence, le poids vif objectif avant le premier vêlage de ces génisses laitières vêlant à 2 ans est de 580 kg (PETIT-CLERC *et al.*, 1985 ; KEOWN and EVERETT, 1986). En première lactation, un croît de 60 kg (150 à 200 g/j) est indispensable à une évolution normale de la production laitière au cours des lactations successives. Il peut être obtenu en supplémentant les jeunes vaches en aliment concentré comme si elles produisaient 5 kg de lait de plus, compte tenu de leur faible capacité d'ingestion. Cette complémentation sera accrue pour des génisses plus légères et réduite pour les plus lourdes (TROCCON *et al.*, 1979).



Génisse de grand format de race

(1) laitière née à l'automne (vêlage à 24 mois et 580 kg)
(2) laitière née en fin d'hiver (vêlage à 30 mois et 610 kg)
(3) à viande née en fin d'hiver (vêlage à 36 mois et 610 kg)

FIG. 5 : *Courbes de croissance-types de génisses dans 3 situations d'élevage.*

A 30 et 36 mois d'âge, les poids vifs objectifs avant le premier vêlage sont respectivement de 610 (figure 5) et 650 kg. Cette fourchette de poids vifs correspond à celle proposable pour les génisses de grand format des troupeaux allaitants dans un système traditionnel (610 kg) ou amélioré (650 kg). Les objectifs de poids vif des génisses d'élevage des troupeaux laitiers ou allaitants des races de format plus réduit peuvent être estimés d'après les valeurs précédentes pour les races de grand format en fonction de leurs poids adultes respectifs.

Références bibliographiques

AGABRIEL J., DULPHY J.P. et MICOL D., 1987. Utilisation des foins pour la croissance et l'engraissement des bovins. In : C. DEMARQUILLY Ed. : «Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation». INRA, Paris.

AGABRIEL J., PETIT M., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **70**.

DULPHY J.P., FAVERDIN P., MICOL D., BOCQUIER F., 1987. Révision du système des Unités d'encombrement. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **70**.

GEAY Y., ROBELIN J., BERANGER C., MICOL D., GUEGUEN L. et MALTERRE C., 1978. Bovins à l'engrais. In : R. JARRIGE Ed. : «Alimentation des Ruminants. INRA, Paris.

GEAY Y., MICOL D., ROBELIN J., BERGE P., MALTERRE C., 1987. Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **70**.

GUEGUEN L., DURAND Michelle, MESCHY F., 1987. Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **70**.

KEOWN J.F. and EVERETT R.W., 1986. Effects of days carried calf, days dry, and weight of first calf heifers on yield. J. Dairy Sci., **69**, 1891-1896.

MICOL D. et BERANGER C., 1981. Variations de la capacité d'ingestion des bovins en croissance et à l'engrais. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **44**, 23-31.

PETITCLERC D., LAROCHE J.C., BRISSON J. et JALBERT J., 1985. Croissance de la génisse laitière, régie et alimentation. Symposium des bovins laitiers, CPAQ, 8-31.

ROBELIN J., 1986. Bases physiologiques de la production de viande : croissance et développement des bovins. In : D. MICOL Ed., Production de viande bovine. INRA, Paris.

SMITH T., BROSTER W.H. and SIVITER J.W., 1980. An assessment of barley straw and oat hulls as energy sources for yearling cattle. J. agric. Sci., Camb., **95**, 677-686.

TOULLEC R., THIVEND P., VERMOREL L. et GUEGUEN L., 1978. Veau préruminant. In : R. JARRIGE Ed., Alimentation des Ruminants. INRA, Paris.

TROCCON J.L., 1980. Rationnement azoté des génisses laitières pienoire de 1 an recevant des rations à base d'ensilage de maïs. Bull. Tech. C.R.V.Z. Theix. INRA, **41**, 9-13.

TROCCON J.L., 1983. Rationnement azoté des génisses laitières pienoire de 1 an. Cas d'une ration à base d'ensilage de maïs pauvre en matière sèche. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix. INRA, **54**, 5-7.

TROCCON J.L. et AGABRIEL J., 1988. Veaux et génisses d'élevage. In : R. JARRIGE Ed. : «L'alimentation des bovins, ovins et caprins». INRA Publ., Paris.

TROCCON J.L. et JOURNET M., 1979. Vitesse de croissance optimale et alimentation des génisses. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **37**, 5-14.

TROCCON J.L., RULQUIN H. et JOURNET M., 1979. Capacités d'ingestion comparées des vaches primipares et multipares. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **36**, 43-48.

TROCCON J.L., BONY J., GAREL J.P., PARRASSIN P.R., 1984. Effet du niveau azoté de l'aliment concentré sur les performances des veaux sevrés précocement. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **56**, 9-14.

VERITE R., MICHALET-DOREAU Brigitte, CHAPOUTOT P., PEYRAUD J.L., PONCET C., 1987. Révision du système PDI. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **70**.

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du système des unités fourragères. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, **70**.

WALDO D.R., 1987. Protein and energy deposition in growing Holstein heifers. Proc. 5th Prot. Symp., Rostock.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 173-183

Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais

Y. GEAY, D. MICOL, J. ROBELIN, Ph. BERGE et C. MALTERRE
avec la collaboration de Rd JAILLER.

INRA - CRZV Theix, Station des Productions Bovines et Chevalines, 63122 Ceyrat.

Introduction

Depuis une trentaine d'années en France, le rationnement des bovins n'a cessé de progresser, suivant en cela le progrès des connaissances.

En 1978, des Tables d'apports alimentaires recommandés ont été proposées (GEAY *et al*, 1978), qui, pour la première fois, tenaient compte de la diversité des types d'animaux produits en France et distinguaient la presque totalité d'entre eux. Elles ont été, ainsi, parmi les premières dans le monde (cf. GEAY, 1980 ; NEIMANN-SORENSEN, 1980) à considérer autant de facteurs de variation des besoins : poids, gain de poids, précocité des animaux, sexe, mode de conduite antérieur et âge des bœufs et des génisses. Elles bénéficièrent des progrès des connaissances sur la composition du croît, l'ingestion, la digestion et le métabolisme qui conduisirent à l'élaboration des nouvelles unités d'expression des apports et des besoins.

Ces apports alimentaires recommandés s'appuyaient toutefois sur de nombreux essais d'alimentation réalisés durant les dix années qui les précédèrent. Or les techniques de conduite et les modes d'alimentation ont subi une évolution importante depuis 1978. C'est ainsi que la nécessité de produire des carcasses lourdes, sans excès de gras, a conduit les éleveurs à limiter les quantités d'énergie ingérées, ou à diluer la ration, plus particulièrement chez les animaux précoces. Le mode de conduite dans le jeune âge s'est amélioré, non seulement chez les taurillons, mais aussi chez les bœufs, conduisant à un accroissement des performances durant les périodes d'alimentation à l'auge. Ces évolutions se sont traduites par des diminutions des coûts alimentaires de production et par une certaine inadéquation des apports alimentaires recommandés aux performances observées. Des analyses réalisées en 1984, par des groupes d'Ingénieurs et d'Enseignants (PIERRART, ROUDIER, LE STANG, 1986) ont bien mis en évidence certaines insuffisances de ces Tables.

Il était donc nécessaire de réactualiser ces recommandations, en cherchant en outre à compléter la gamme des types de production considérés. Les nouveaux apports recommandés, ainsi que les capacités d'ingestion, figurent dans les Tables de l'Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins (1988). Nous rapportons ici les bases de l'élaboration des apports énergétiques et azotés recommandés, ainsi que celles du calcul des capacités d'ingestion. L'élaboration des recommandations en minéraux fait l'objet d'une publication séparée (GUEGUEN *et al*, 1987).

Les différents types d'animaux

Ces Tables présentent les apports alimentaires recommandés pour les différents types de production : taurillons, taureaux, bœufs, génisses et vaches de réforme. Les jeunes animaux, d'un poids inférieur à 150 kg et agés de moins de 4 à 5 mois (veaux d'élevage), ainsi que les femelles d'élevage destinées à la reproduction font l'objet d'un article de cette revue (TROCCON, 1987).

A la différence des propositions précédentes les fourchettes de gains de poids prises en compte dans ces tables varient selon le poids et le type de production, tentant de mieux encadrer les performances réalisables. C'est ainsi qu'elles sont plus étroites en début et en fin de période de production et font apparaître des gains de poids plus faibles à la fin de la période considérée.

Les taurillons :

Parmi ces mâles entiers à croissance intensive, 5 classes ont été distinguées, compte tenu des résultats dont nous disposions sur la composition du croît et de l'importance des écarts relatifs de besoins entre types génétiques :

- Les taurillons de races précoces, issus des troupeaux laitiers, abattus autour d'un poids vif de 650 kg, dont les croîts peuvent atteindre 1600 g/j avant 400 kg et au sein desquels nous avons distingué les animaux Pie Noirs (Holstein, Frison) et les animaux Normands.

- Les taurillons de précocité intermédiaire, issus des troupeaux laitiers : Montbéliards, Charolais × Normands, Charolais × Frisons, et ceux issus des troupeaux allaitants : Salers, Aubracs..., abattus autour des poids de 650 kg, dont les croîts peuvent dépasser 1600 g/j entre 300 et 400 kg.

- Les taurillons de races tardives et (ou) de grand format, à fort potentiel de croissance musculaire, pouvant atteindre 1800 g/j entre 350 et 500 kg : Blonds d'Aquitaine, Charolais, Limousin, Charolais × Salers..., abattus entre 700 et 750 kg.

Les bœufs :

Nous avons distingué parmi les mâles castrés, selon leur précocité ou leur âge en début de finition, 4 classes d'animaux finis à l'auge et justifiant de ce fait des tableaux d'apports alimentaires recommandés : 2 classes d'animaux issus du troupeau laitier, 2 classes d'animaux issus du troupeau allaitant :

- Les bœufs Pie Noirs, nés en automne engraissés à partir d'un poids minimum de 400 kg, abattus entre 28 et 30 mois à un poids voisin de 650 kg et pour lesquels les gains de poids varient dans des fourchettes allant de 1 000 à 1 200 g/jour au début et de 800 à 1 200 g/j à la fin de la période d'engraissement.

- Les bœufs Normands, Charolais × Normands et Charolais × Pie Noirs, nés au printemps et finis à l'auge à 26-27 mois entre 600 et 650 kg, ou nés à l'automne et finis à l'auge entre 28 et 30 mois à des poids compris entre 650 et 700 kg.

- Les bœufs issus des troupeaux allaitants, nés au printemps (Charolais essentiellement) finis à l'auge :

• à partir d'un poids minimum de 400 kg vers 20-22 mois et abattus vers 24-28 mois à un poids voisin de 700 kg,

• à partir de 500 kg vers 30 mois et abattus vers 32-36 mois à un poids pouvant atteindre 800 kg.

Les jeunes taureaux :

Les mâles entiers destinés à la boucherie ayant pâturé deux saisons successives (de 3 à 9 mois et de 15 à 20 mois) sont essentiellement produits à partir des races allaitantes. Contrairement aux propositions de 1978, ces animaux font l'objet d'apports alimentaires recommandés spécifiques tenant compte de leur potentiel de croissance musculaire plus élevé que celui des bœufs de même âge et des taurillons de même poids. De même, les valeurs de capacité d'ingestion proposées tiennent compte des aptitudes de ces animaux à consommer des régimes d'engraissement riches en fourrages.

Les génisses :

Comme les mâles, elles ont des besoins qui dépendent, à un poids donné, de leur état d'engraissement et donc de leur précocité. Deux classes de génisses nées au printemps et non destinées à la reproduction, engraissées à partir de 18-20 mois, ont été considérées :

- Les génisses issues des troupeaux laitiers : Holstein, Frisonnes, Normandes, Montbéliardes et croisées Charolais × Normand, Charolais × Pie Noir, pouvant peser au moins 350 kg en début d'engraissement et abattues vers 24-28 mois à des poids allant jusqu'à 550 kg.

- Les génisses issues des troupeaux allaitants : Blondes d'Aquitaine, Charolaises, Limousines, Salers, Aubrac et croisées Charolais × Salers et Charolais × Aubrac, pouvant être abattues vers 26-30 mois à des poids allant jusqu'à 650 kg.

Les vaches de réforme :

Les apports alimentaires recommandés et la capacité d'ingestion de cette catégorie d'animaux ont fait l'objet de tableaux spécifiques. Ils concernent les vaches taries et maigres en début d'engraissement, regroupées en deux classes : l'une issue des troupeaux laitiers dont les croîts évoluent entre 600 et 1200 g/jour, pour des poids variant de 500 à 750 kg, l'autre issue des troupeaux allaitants dont les poids et les gains de poids sont compris respectivement entre 500 et 750 kg et 800 et 1400 g/jour.

Les mâles en croissance :

Seule cette catégorie d'un poids supérieur à 150 kg, dont le croît est inférieur ou égal à 1 000 g/jour, a été envisagée dans ce document. Les femelles en croissance ou génisses d'élevage font en effet l'objet d'une publication dans cette revue (TROCCON, 1987). Toutefois deux classes de mâles en croissance ont été considérées, selon leur origine, distinguant des animaux de précocité différente : les mâles issus des troupeaux laitiers et les mâles issus des troupeaux allaitants.

Les mâles reproducteurs :

Ils font l'objet, toutes races confondues, d'apports alimentaires spécifiques au voisinage du poids adulte. Leurs besoins (énergétiques et azoté) ont été calculés au voisinage de l'entretien et majorés de 5 %.

Ils sont considérés jusqu'à ce stade comme des mâles en croissance et leurs besoins sont pris en compte dans le tableau correspondant.

Variation de la composition corporelle et de la composition du croît

Les apports alimentaires recommandés en énergie et en azote reposent sur la connaissance de la composition chimique du croît, et plus précisément sur celle des quantités de protéines et de lipides réellement fixés. Ces quantités ont été déterminées grâce à un modèle qui tient compte, pour chacun des types d'animaux précédents, de son poids et de son gain de poids vif journalier. Dans ce modèle, publié par ailleurs (ROBELIN, 1988), chaque type d'animal est défini par un certain nombre de paramètres, caractérisant sa courbe de croissance et l'évolution moyenne de sa composition corporelle au cours de la période d'alimentation.

- L'évolution de la composition chimique d'un animal peut être décrite de façon simplifiée, en considérant séparément l'évolution des lipides et celle de la masse délipidée (poids vif vide — lipides).

- Les lipides évoluent selon une relation d'allométrie classique en fonction du poids vif vide ; cette relation est variable selon le type d'animal (race, âge, sexe, etc...). Le modèle comporte autant d'équations de prédiction que de types d'animaux.

TABLEAU 1

Relations utilisées pour le calcul de la composition du croît des animaux.

Contenu digestif

- Relation entre le contenu digestif (CD) et le poids vif (PV)

$$\text{Log CD} = a_0 + a_1 \text{Log PV}$$

(a_0 et a_1 variables selon le type d'animal)

Lipides

- Relation entre le poids de lipides corporels (LIP) et le poids vif vide (PVV)

$$\text{Log LIP} = b_0 + b_1 \text{Log PVV} + b_2 (\text{Log PVV})^2$$

(b_0, b_1 et b_2 variables selon le type d'animal)

- Relation entre le gain de lipides journalier (GLIP) et le gain de poids vif vide (GPVV)

$$\text{GLIP} = c_0 \text{GPVV}^{1.8}$$

(c_0 variable selon le type d'animal, calculé à partir de la relation précédente)

Protéines

- Relation entre les protéines (PROT) et la masse délipidée (MDEL = poids vif vide - lipides)

$$\text{PROT} = 0.1436\ \text{MDEL}^{1.0723}$$

(relation valable pour tout type d'animal)

- Chez un type d'animal, le dépôt de lipides est d'autant plus rapide que le niveau énergétique de la ration et la vitesse de croissance sont élevés. Nos résultats et la compilation des résultats de la bibliographie montrent que le gain journalier de lipides est proportionnel au gain de poids vif élevé à la puissance 1,8. Cela signifie que si l'on accroît le gain journalier d'un animal de 10 % en valeur relative (par exemple de 1000 à 1100 g/j), le dépôt de lipides journalier sera accru de 18 % (par exemple de 200 à 236 g/j).

- L'évolution des protéines et des autres éléments de la masse délipidée (eau, minéraux), en fonction de la masse délipidée (poids vif vide — lipides), est très peu variable selon le type d'animal, son niveau alimentaire ou sa vitesse de croissance. En d'autres termes, une seule équation peut rendre compte de l'évolution des protéines en fonction de la masse délipidée.

Chaque type d'animal est défini par une courbe de croissance de référence (exprimée sous la forme d'une équation de Gompertz), un état initial (poids vif, contenu digestif et pourcentage de lipides) et un état final. A partir de ces valeurs, on calcule l'évolution, en fonction du poids vif, des lipides et des protéines fixés par un animal qui suit la courbe de croissance de référence. Dans une seconde étape, on détermine les variations des lipides et des protéines fixés selon la vitesse de croissance, par rapport aux valeurs observées chez l'animal de référence.

Les valeurs des paramètres du modèle, pour les différents types d'animaux (tableau 2), ont été ajustées à partir des résultats de croissance et de composition corporelle obtenus par abattage, au cours des 20 dernières années, sur des taurillons, des bœufs et des génisses à l'engrais de différentes races. Les données de composition corporelle ont été mesurées par analyse chimique du corps entier (plus de 200 animaux) ou par estimation à l'abattage à partir de la composition de la 11e ou de la 6e côte. Dans une première étape, nous avons utilisé le modèle avec ces données de base pour les confronter entre elles : nous les avons ajusté ensuite pour en parfaire la cohérence.

Apports énergétiques recommandés

Mode d'estimation

La méthode adoptée pour calculer ces apports est une méthode analytique, additionnant les dépenses d'entretien aux dépenses de production. Elle diffère ainsi de la méthode globale, adoptée par les auteurs en 1978, qui reposait entièrement sur les résultats enregistrés dans les essais d'alimentation. Les raisons de ce nouveau choix sont multiples :

- La connaissance de la composition corporelle et de ses variations, sous l'effet de divers facteurs, s'est notablement améliorée depuis 1978, ainsi que cela vient d'être précisé. Il en est de même de la connaissance de l'utilisation métabolique de l'énergie. C'est ainsi que la mesure de la quantité d'énergie réellement fixée par l'animal, a permis de constater que le rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable (EM) pour la croissance (kc), diminuait curvilinéairement (fig.1) avec l'augmentation de la proportion d'énergie fixée sous forme de protéines (GEAY *et al*, 1976 ; GEAY et ROBELIN, 1979 ; GEAY, 1984). Chez les bovins en croissance, notamment chez les mâles de races tardives, dont la proportion d'énergie fixée sous forme de protéines peut atteindre et même dépasser 50 %, le rendement devient ainsi très inférieur au rendement kf (0,40 contre 0,49) et par suite au rendement kmf (0,69) utilisés pour le calcul de la valeur énergétique des aliments : kmf = km × kf × NP / (kf + (Np − 1) km (cf. VERMOREL *et al* 1987). Le rendement kf (BLAXTER, 1974) a en effet été obtenu à partir de bouvillons précoces ou de moutons adultes, fixant seulement entre 15 et 25 % d'énergie sous forme de protéines. Cette différence explique pourquoi les apports énergétiques, calculés à partir de la méthode analytique, étaient apparus en 1978 inférieurs aux quantités d'énergie ingérées dans les essais d'alimentation et n'avaient pas été retenus.

Pour supprimer ces écarts et ajuster ainsi les valeurs des aliments aux apports recommandés, nous avons corrigé la quantité d'énergie fixée, en tenant compte du rapport kmf / kc, selon la proportion d'énergie fixée sous forme de protéines.

- Les essais d'alimentation ont été réalisés en plus faible nombre que par le passé, du fait de l'évolution des programmes de recherche. Ils ont cependant été utilisés pour valider les valeurs obtenues par cette méthode analytique. Ils ont notamment permis de fixer les valeurs retenues pour les besoins d'entretien : 88 kcal/kg $P_{0,75}$ d'énergie nette, soit 120 kcal/kg $P_{0,75}$ d'énergie métabolisable, pour les jeunes animaux en croissance et à l'engrais (taurillons). Cette valeur est supérieure d'environ 9 % aux besoins d'entretien mesurés en chambre respiratoire par différents auteurs (cf JARRIGE, GUEGUEN, VERMOREL 1978 ; VAN ES, 1980). Les essais d'alimentation ont également conduit à majorer cette première valeur de 15 % pour les animaux de grand format et/ou de races tardives (taureaux, bœufs), maigres à des poids élevés, au début de la phase d'engraisse-

TABLEAU 2

Paramètres du modèle caractérisant la courbe de croissance et la composition corporelle de référence utilisées pour les différents types d'animaux.

PV_0 PV_1: poids vifs initial et final

a_1 a_2: paramètres de l'équation de Gompertz représentant l'évolution du poids vif (PV) en fonction de la durée (t:jours). Pour t=0, $PV=PV_0$

$$PV = PV_0 \exp a_1(1-\exp(-a_2 t))$$

CD_0 CD_1: contenus digestifs initial et final (en p.100 du poids vif)

LIP_0 LIP_1: lipides corporels initiaux et finaux (en p.100 du poids vif vide)

Types d'animaux	PV_0	PV_1	a_1	a_2	CD_0	CD_1	LIP_0	LIP_1
Animaux à l'engrais: (période d'engraissement)								
Taurillons Pie-noirs (6-16 mois)	200	550	1.4079	0.0038	20	12	7.5	21
Taurillons Normands " "	200	550	1.4079	0.0038	20	12	7	19
Montbéliards " "	200	550	1.4079	0.0038	20	12	6.5	17
Salers (9-17 mois)	300	550	1.0024	0.0038	16.5	12	9	16
Taurillons tardifs (9-17 mois)	300	650	1.1028	0.0037	16	10	8	14
Taureaux tardifs (20-24 mois)	540	750	0.6526	0.0035	12	10	10.5	14
Boeufs Pie-noirs (24-28 mois)	520	630	0.6498	0.0035	13	11	16	21
Boeufs Normands (24-28 mois)	540	660	0.6290	0.0035	13	11	16	21
Boeufs tardifs (20-24 mois)	540	670	0.6290	0.0035	12	10	11	15
Boeufs tardifs (30-33 mois)	650	750	0.4341	0.0040	12	10	12	17
Génisses précoces (20-24 mois)	440	540	0.5228	0.0035	14	12	16	22
Génisses tardives (20-24 mois)	450	570	0.6174	0.0035	13	11.5	13	16.5
Animaux en croissance:								
Mâles précoces	200	520	1.5013	0.0025	20	13	7.5	18
Mâles tardifs	300	540	1.1140	0.0025	16	12	8	11
Génisses précoces	200	480	1.5013	0.0025	20	13	9	21
Génisses tardives	250	480	1.2754	0.0025	18	13	9	14

ment. Ceci peut se justifier si on considère que la masse musculaire plus importante de ces animaux, à ce poids, que celle de taurillons en fin d'engraissement, conduit à des dépenses énergétiques de renouvellement de ces protéines plus élevées (VAN ES, 1980). REEDS *et al* (1980), ont montré également que la chaleur de production était hautement corrélée à la synthése protéique.

- Enfin, le calcul des besoins énergétiques à partir de la quantité d'énergie fixée, relève d'une démarche cohérente avec celle adoptée pour le calcul des besoins azotés, puisque la quantité d'énergie fixée est obtenue à partir de la connaissance des quantités de protéines et de lipides fixées.

Mode de calcul

Comme en 1978, deux catégories de bovins ont été distinguées selon leur niveau de production (NP), c'est-à-dire selon l'importance de leur gain de poids journalier : les animaux à croissance rapide pour lesquels le gain de poids journalier est égal ou supérieur à 1 000 g/j ($NP \geq 1,4$). Leurs apports recommandés ont été exprimés en UFV. Les animaux à croissance lente pour lesquels le gain journalier est inférieur ou égal à 1 000 g/j ($NP \leq 1,4$). Leurs apports recommandés ont été exprimés en UFL.

- Les animaux à croissance rapide ($\geq$ 1 000 g/j) : les valeurs énergétiques des aliments destinés à ces animaux ont été calculées à partir d'un rendement global (kmf) de l'EM et en considérant que la valeur énergétique nette de l'aliment (EN) pour l'ensemble des dépenses d'entretien et de production (cf VERMOREL *et al*, 1987) correspondait à :

$$EN\ (UFV) = EM \times kmf / 1,82.$$

Par suite, les apports énergétiques recommandés (EN) exprimés en UFV ont été calculés sur la même base, à partir de la relation suivante :

$$EN = (EN\ entretien \times kmf / km + EN\ production \times kmf / kc)/1,82.$$

L'énergie nette de production, ou énergie totale fixée, sous forme de protéines et de lipides :

$$EN\ (production) = (5,48\ PROT + 9,39\ LIP),$$

PROT et LIP représentant respectivement la quantité de protéines et de lipides fixés, calculés à partir du modèle décrit précédemment.

Les valeurs des rendements km pour l'entretien et kmf global, ont été calculées à partir des équations utilisées pour le calcul des valeurs énergétiques des aliments, en adoptant une concentration moyenne en énergie métabolisable (EM) des rations d'engraissement ($q = EM / EB$) de 0,63. Il y aurait en effet,

autant de valeurs d'apports recommandés qu'il y a de concentrations énergétiques possibles.

Les valeurs du rendement kc d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la croissance ont été calculées en fonction de la proportion d'énergie fixée sous forme de protéines (Ep) selon la relation suivante : kc = 0,35 + 0,25 (1-Ep).

Cette relation a été établie a partir des résultats de divers essais réalisés sur des taurillons, des bouvillons et des génisses, ainsi que sur des agneaux dont l'énergie métabolisable ingérée a été enregistrée et l'énergie fixée mesurée par la méthode des abattages (GARRETT, 1970 ; AYALA, 1974 ; GEAY *et al*, 1976 ; ROBELIN et GEAY, 1976 ; GEAY *et al*, 1979 ; THERIEZ *et al*, 1982). La courbe représentative de cette équation (fig.1) passe également par la valeur 0,49 correspondant au kf de l'équation de BLAXTER (1978) pour 20 % d'énergie fixée sous forme de protéines. L'application de cette équation pour Ep = 0 et pour Ep = 1, conduit aux valeurs respectives de 0,60 et de 0,35 pour les rendements de fixation des lipides et des protéines. Ces valeurs sont telles que l'EM nécessaire pour la fixation d'1 g de lipides est identique à celle d'1 g de protéines, comme l'ont observé WEBSTER *et al* (1980) sur monogastrique. Enfin, ces valeurs sont peu différentes de celles (0,61 et 0,39) proposées par BLAXTER (1980).

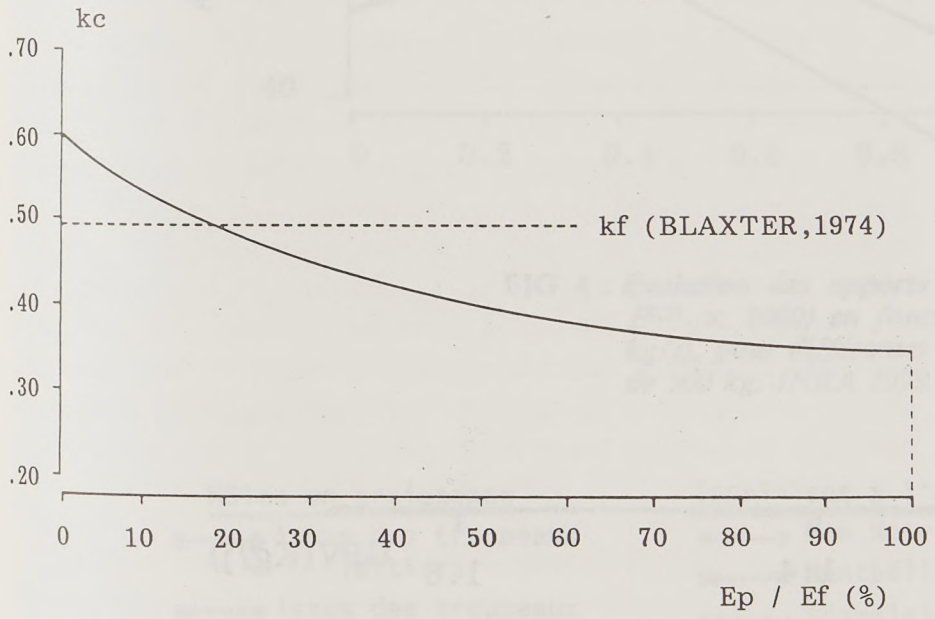


FIG. 1 : *Evolution du rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la croissance (Kc) en fonction de la proportion d'énergie fixée sous forme de protéines (Ep/Ef).*

- *Les animaux à croissance lente* (≤ 1 000 g/j) : leurs apports recommandés (EN) exprimés en UFL ont été calculés à partir d'une équation relevant du même principe que précédemment :

EN = (EN entretien × kl/km + EN production × kl/kc) / 1,7.

De la même façon, les valeurs des rendements km et kl ont été calculées à partir des équations utilisées pour la détermination des valeurs énergétiques des aliments. Toutefois les concentrations en EM adoptées pour ce calcul ont été choisies de telle sorte qu'elles correspondent aux rations permettant au moins le gain de poids considéré. Pour cela une relation a été établie, à partir des essais d'alimentation, entre le gain de poids et la concentration en EM nécessaire de la ration (fig.2).

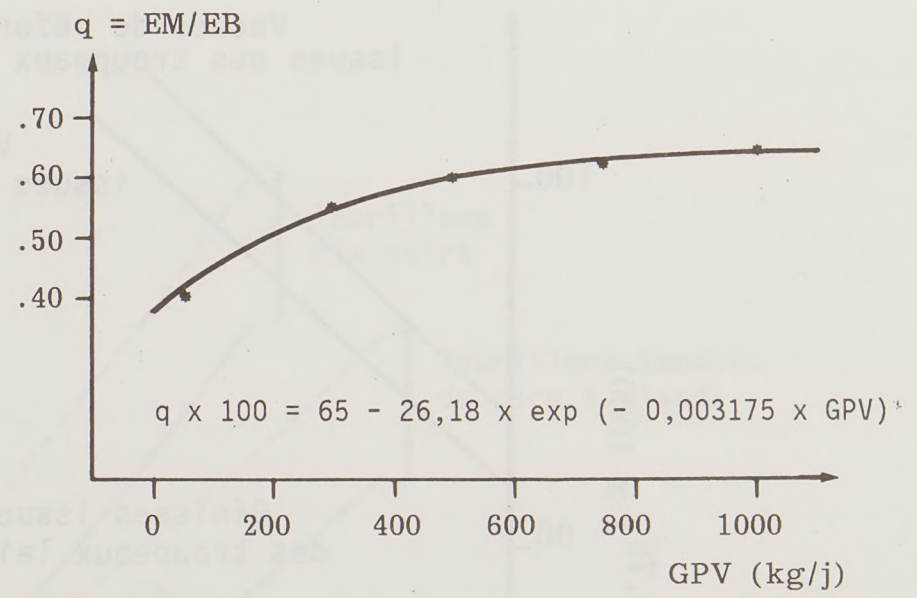


FIG. 2 : *Evolution de la concentration énergétique minimale (q = EM/EB) des rations nécessaires pour atteindre le gain de poids vif considéré (GPV).*

Analyse des résultats

Pour un croît journalier constant, la quantité d'énergie recommandée augmente avec le poids vif, mais de façon pratiquement constante, contrairement au modèle adopté par les auteurs en 1978. Dans celui-ci, en effet, la quantité d'énergie fixée journellement était une fonction exponentielle du poids dont la puissance était inférieure à 1. Le modèle plus précis présenté précédemment, met en évidence le fait que l'énergie fixée s'accroit de plus en plus avec l'augmentation du poids, ce qui contrebalance l'augmentation de plus en plus faible du besoin d'entretien.

En revanche, comme les auteurs l'ont observé en 1978, la quantité recommandée, pour un poids constant, augmente avec le gain de poids vif et de plus en plus.

Au sein d'un même type de production la même hiérarchie peut être observée en fonction du type génétique et du sexe : ainsi, à 400 kg et pour 1 400 g/j les taurillons Pie Noirs nécessitent 3 % d'énergie en plus que les Normands, 6 % de plus que les Salers et 13 % de plus que les taurillons tardifs de race à viande. Au même poids (400 kg) mais pour 1 000 g/j, les génisses de 2 ans, issues des troupeaux laitiers nécessitent 9 % de plus que celles issues des troupeaux allaitants et cet écart atteint 23 % à 550 kg, pour le même croît. Elles nécessitent alors 4 % d'énergie en plus que les bœufs et 7 % de plus que les taureaux du même âge (fig. 3).

Les bœufs abattus à 30-33 mois sont plus maigres, au début de la phase d'engraissement, que ceux de même poids de 24-28 mois, mais ils s'engraissent plus rapidement et nécessitent ensuite, pour les mêmes performances, des quantités d'énergie supérieures.

Les apports énergétiques recommandés pour les mâles en croissance ont été exprimés en UFL jusqu'à 1 000 g/j et non pas 750, comme en 1978, en accord avec les souhaits des Ingénieurs chargés du Développement (PIERRART, ROUDIER, LE STANG, 1986). Ceci permet de tenir compte de la totalité des niveaux de croissance rencontrés. Pour un croît journalier de 1 000 g les apports recommandés pour les mâles Pie Noirs sont entre 7 et 10 % plus élevés, lorsqu'ils sont exprimés en UFL plutôt qu'en UFV (fig. 4). Cette supériorité correspond, en effet, à peu près à celle que prend la valeur énergétique des rations de croissance, riches en fourrages, lorsque cette valeur est exprimée en UFL plutôt qu'en UFV.

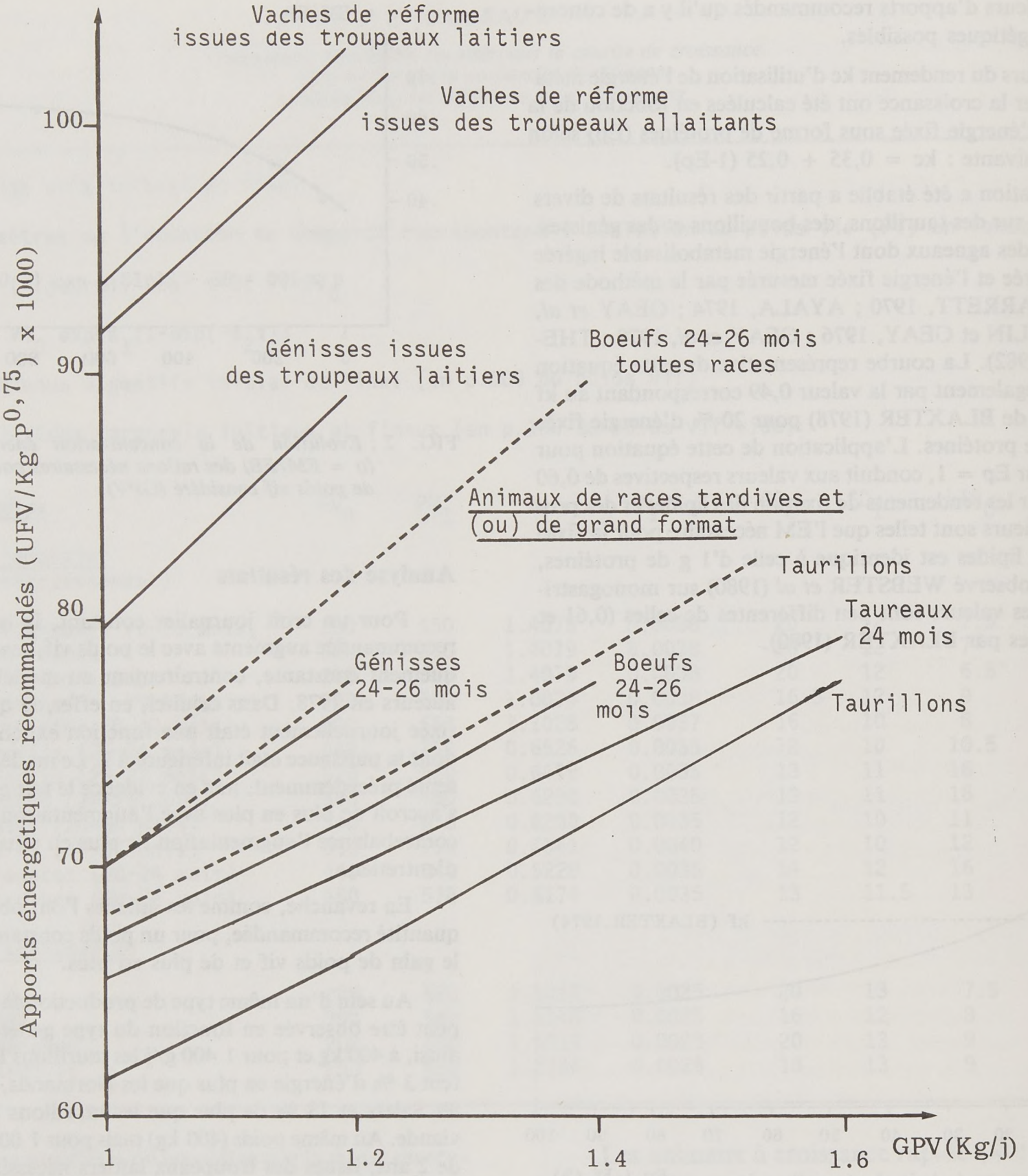


FIG. 3 : *Evolution des apports énergétiques recommandés (UFV/kg $P^{0,75}$ × 1000) en fonction du gain de poids vif (GPV en kg/j) pour différents types de production à un poids moyen de 500 kg : INRA 1978 (- - -), INRA 1988 (——).*

Les recommandations énergétiques pour les vaches de réforme ont été également exprimées en UFL. En effet, ces animaux sont en général engraissés dans leurs lieux d'origine, au sein des troupeaux laitiers ou allaitants utilisant cette même unité. Il est toutefois possible de convertir ces recommandations en UFV en les multipliant par 0,93.

Les apports ainsi recommandés pour les taurillons et les bœufs sont inférieurs à ceux recommandés par les auteurs en 1978. Ils tiennent compte, en effet, de l'amélioration des techniques d'élevage et de la nécessité de réduire la formation excessive des dépôts adipeux. Par exemple, entre 300 et 400 kg, ils sont plus faibles de 10 % pour les taurillons Pie Noirs et de 4 à 7 % pour les taurillons Charolais, réalisant 1 400 g/j (fig. 5) ; ils devraient sans doute être réduits encore de 2 à 3 % supplémentaires pour les taurillons Limousins. Ils sont plus faibles de 9 à 5 % pour les bœufs Normands et de 13 à 11 % pour les bœufs Charolais de 24 à 30 mois, entre 500 et 600 kg. Ces écarts correspondent, en moyenne, à ceux constatés depuis 1978 par les utilisateurs (PIERRART, ROUDIER, LE STANG, 1986).

Les apports énergétiques recommandés sont en revanche plus élevés qu'en 1978 pour les mâles en croissance, au-delà de 600 g/j, et pour les génisses abattues entre 24 et 28 mois issues des troupeaux laitiers (fig. 5). Ils n'étaient en effet, pas spécifiques à ces dernières, ayant été calculés, essentiellement, à partir de données issues de génisses de races à viande.

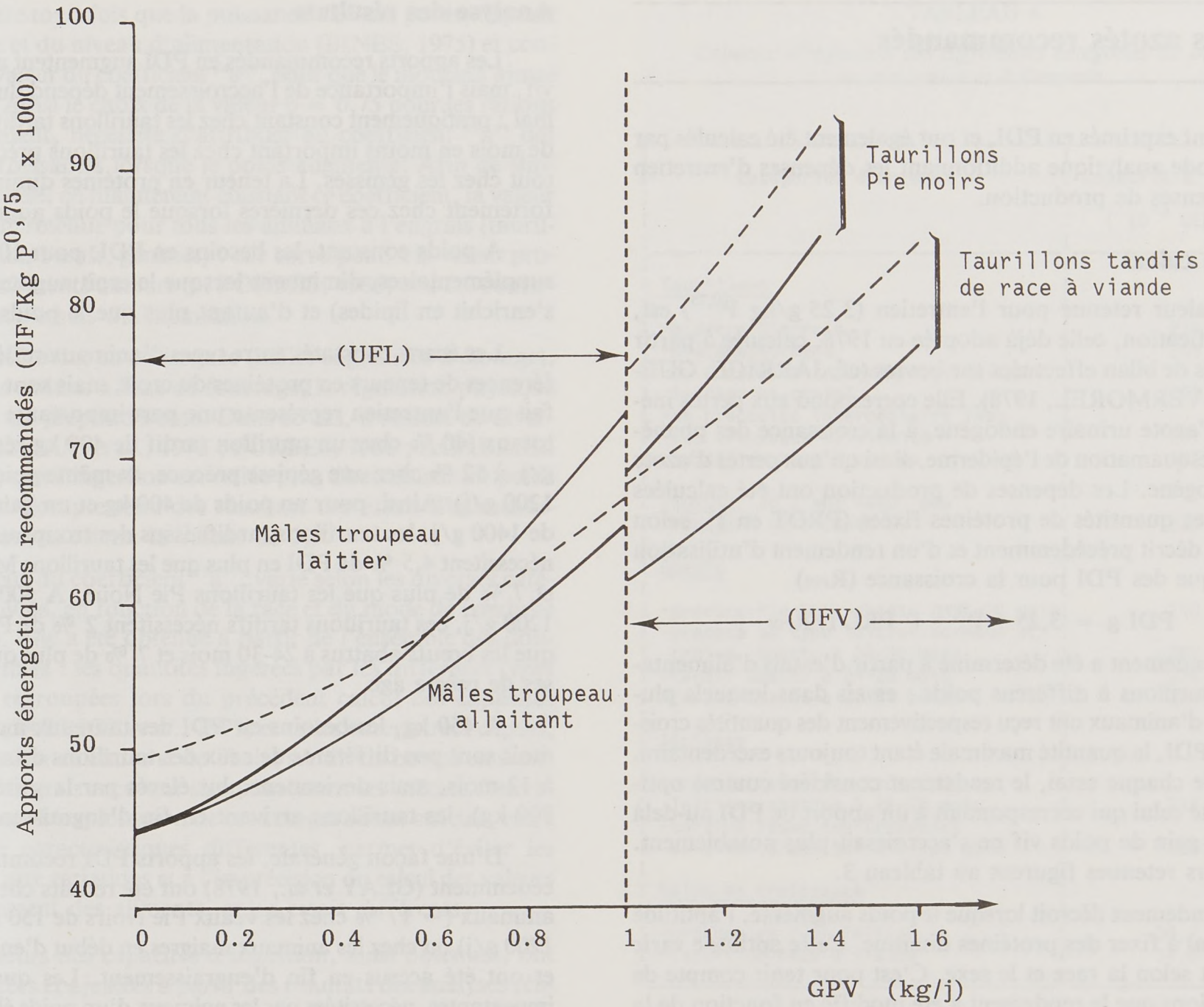


FIG 4 : *Evolution des apports énergétiques recommandés (UF/kg $P^{0,75}$ × 1000) en fonction du gain de poids vif (GPV en kg/j), pour différentes catégories d'animaux à un poids vif de 500 kg. INRA 1978 (- - -), INRA 1988 (——).*

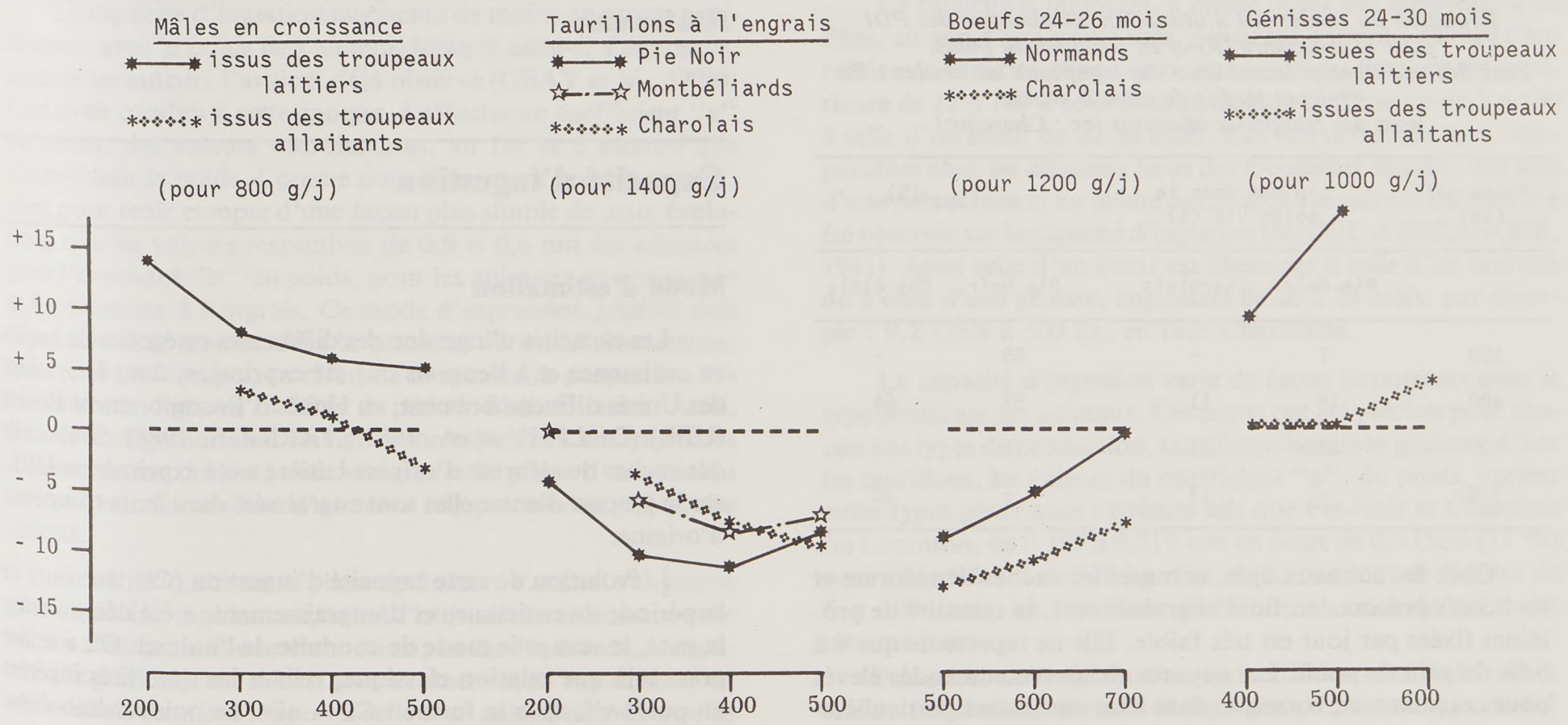


FIG. 5 : *Ecarts relatifs entre les nouveaux apports énergétiques recommandés et ceux adoptés en 1978 (INRA 1978) (en en p. 100 des apports 1978).*

Apports azotés recommandés

Ils sont exprimés en PDI, et ont également été calculés par une méthode analytique additionnant les dépenses d'entretien et les dépenses de production.

Mode de calcul

La valeur retenue pour l'entretien (3,25 g/kg $P^{0,75}$) est, après vérification, celle déjà adoptée en 1978, calculée à partir de mesures de bilan effectuées sur bovins (cf. JARRIGE, GUEGUEN et VERMOREL, 1978). Elle correspond aux pertes inévitables d'azote urinaire endogène, à la croissance des phanères, à la desquamation de l'épiderme, ainsi qu'aux pertes d'azote fécal endogène. Les dépenses de production ont été calculées à partir des quantités de protéines fixées (PROT en g), selon le modèle décrit précédemment et d'un rendement d'utilisation métabolique des PDI pour la croissance (R_{PDI})

$$PDI\ g = 3,25 * P^{0,75} + PROT/R_{PDI}$$

Ce rendement a été déterminé à partir d'essais d'alimentation de taurillons à différens poids ; essais dans lesquels plusieurs lots d'animaux ont reçu respectivement des quantités croissantes de PDI, la quantité maximale étant toujours excédentaire. Au sein de chaque essai, le rendement considéré comme optimum, a été celui qui correspondait à un apport de PDI au-delà duquel le gain de poids vif ne s'accroissait plus notablement. Les valeurs retenues figurent au tableau 3.

Le rendement décroit lorsque le poids augmente, l'aptitude de l'animal à fixer des protéines diminue. Cette aptitude varie également selon la race et le sexe. C'est pour tenir compte de ces variations que le rendement a été modifié en fonction de la composition chimique des animaux. A partir des valeurs moyennes déduites des essais d'alimentation le rendement a été réduit d'un point par point de lipides en plus dans le poids vif.

TABLEAU 3

Evolution du rendement d'utilisation métabolique des PDI pour la croissance (R_{PDI}) en fonction du poids, chez des taurillons précoces issus des troupeaux laitiers (ex : Pie Noir) et tardifs de races à viande issus des troupeaux allaitants (ex : Charolais)

Poids vif (kg)	Lipides dans le poids vif (%)		R_{PDI} (%)	
	Pie Noir	Charolais	Pie Noir	Charolais
150	7	-	68	-
400	18	11	53	64
600	27	14	28	48
750	-	17	-	30

Chez les animaux âgés, commes les vaches de réforme et les bœufs précoces en fin d'engraissement, la quantité de protéines fixées par jour est très faible. Elle ne représente que 4 à 6 % du gain de poids. Les apports azotés recommandés élevés pour ces animaux, correspondant à un rendement particulièrement bas, se justifient essentiellement pour satisfaire les besoins azotés des microorganismes du rumen et permettre ainsi une digestibilité et un niveau d'ingestion satisfaisants.

Analyse des résultats

Les apports recommandés en PDI augmentent avec le poids vif, mais l'importance de l'accroissement dépend du type d'animal : pratiquement constant chez les taurillons tardifs, il devient de mois en moins important chez les taurillons précoces et surtout chez les génisses. La teneur en protéines diminue en effet fortement chez ces dernières lorsque le poids augmente.

A poids constant, les besoins en PDI, pour 100 g de croît supplémentaires, diminuent lorsque le croît augmente (celui-ci s'enrichit en lipides) et d'autant plus que le poids est élevé.

Les écarts constatés entre types d'animaux reflètent les différences de teneurs en protéines du croît, mais sont atténués du fait que l'entretien représente une part importante des besoins totaux (40 % chez un taurillon tardif de 400 kg réalisant 1600 g/j, à 52 % chez une génisse précoce, de même poids, réalisant 1200 g/j). Ainsi, pour un poids de 400 kg et un gain journalier de 1400 g/j, les taurillons tardifs issus des troupeaux allaitants nécessitent 4,5 % de PDI en plus que les taurillons Montbéliards et 7 % de plus que les taurillons Pie Noirs. A 500 kg et pour 1200 g/j, ces taurillons tardifs nécessitent 2 % de PDI, en plus que les bœufs abattus à 24-30 mois et 7 % de plus que les génisses de même âge.

A 450 kg, les besoins en PDI des taureaux maigres de 20 mois sont peu différents de ceux des taurillons de même poids, à 12 mois, mais deviennent plus élevés par la suite (+ 7 % à 700 kg), les taurillons arrivant en fin d'engraissement.

D'une façon générale, les apports PDI recommandés précédemment (GEAY *et al.*, 1978) ont été réduits chez les jeunes animaux (– 17 % chez les veaux Pie Noirs de 150 kg réalisant 1200 g/j) ou chez les animaux maigres en début d'engraissement et ont été accrus en fin d'engraissement. Les quantités plus importantes, nécessitées par les animaux d'un poids élevé (bœufs, vaches de réforme), traduisent la réduction du rendement global d'utilisation des PDI et la nécessité d'assurer aux microorganismes du rumen une couverture suffisante de leurs besoins azotés, compte tenu des apports énergétiques élevés. Ceci permet ainsi de maintenir une digestibilité et un niveau d'ingestion satisfaisants.

Capacité d'ingestion

Mode d'estimation

Les capacités d'ingestion des différentes catégories de bovins en croissance et à l'engrais ont été exprimées, dans le système des Unités d'Encombrement, en Unités d'Encombrement Bovins (UEB) (DULPHY *et al.*, 1987 ; JARRIGE, 1988). Seule celle des vaches de réforme d'origine laitière a été exprimée en UEL, car la plupart d'entre elles sont engraissées dans leurs troupeaux d'origine.

L'évolution de cette capacité d'ingestion (CI), au cours de la période de croissance et d'engraissement, a été décrite selon la race, le sexe et le mode de conduite de l'animal. On a utilisé pour celà une relation classique, reliant les quantités ingérées au poids vif, sous la forme : $CI = aP^b$. Le poids métabolique ($b = 0,75$) ayant souvent été considéré dans le passé, cette valeur de l'exposant avait été adoptée précédemment par les auteurs (GEAY *et al.*, 1978).

Il s'avère toutefois que la puissance "b" du poids, dépend de la nature et du niveau d'alimentation (BINES, 1975) et conditionne la valeur du coefficient "a", pour que le modèle s'ajuste à la réalité. Ainsi le choix de la valeur b = 0,75 pour les rations d'engraissement, nécessite d'attribuer au coefficient "a" des valeurs décroissantes lorsque le poids augmente. Afin de simplifier le modèle, en maintenant constant ce coefficient, la valeur b = 0,6 a été retenue pour tous les animaux à l'engrais (taurillons, taureaux, bœufs, génisses) : elle correspond à la valeur proposée par différents auteurs (cf FORBES, 1986) et a été confirmée dans nos essais d'alimentation.

Chez les bovins en croissance (mâles et génisses d'élevage), recevant des rations à base de fourrage, la régulation physique de l'appétit est prépondérante. Dans ce cas, il ressort de diverses études (KARUE *et al.*, 1973 ; FORBES, 1986 ; AGABRIEL *et al*, 1987), que l'ingestion est reliée plus directement au poids vif (b = 1). Compte tenu des résultats des essais d'alimentation, nous avons retenu la valeur de 0,9.

La valeur du coefficient "a", varie selon les diverses catégories de bovins, en fonction de la race et du mode de conduite (Tableau 4). Elle a été obtenue à partir de l'ensemble des données disponibles : les quantités ingérées par les différents types de bovins, regroupées lors du précédent calcul des capacités d'ingestion (JARRIGE *et al.*, 1979) et celles enregistrées depuis, à l'INRA du Pin au Haras et de Theix, sur divers bovins en croissance et à l'engrais recevant simultanément les mêmes fourrages ou rations. L'exploitation de ces comparaisons strictes, entre animaux de caractéristiques différentes, permet d'éviter les erreurs liées aux variations et à l'imprécision du calcul des valeurs d'encombrement des aliments, entre essais différents.

Les valeurs des capacités d'ingestion, ainsi obtenues, ont été confrontées et ajustées à partir des résultats des analyses réalisées par des groupes d'Ingénieurs et d'Enseignants (PIERRART, ROUDIER, LE STANG, 1986).

TABLEAU 4

Capacité d'ingestion des différentes catégories de bovins en croissance et à l'engrais.

Catégories d'animaux	Capacité d'ingestion (10^{-3} UEB/kg P^{b*})
Taurillons	
-précoce:Pie-noir	219
-précoce:Normand	205
-de précocité intermédiaire de type laitier et croisé	205
-de précocité intermédiaire issu des troupeaux allaitants	207
-tardif de race à viande	197
Taureau de 2 ans issu des troupeaux allaitants	220
Boeufs	
-précoce:Pie-Noir abattu à 24-30 mois	248
-précoce de type laitier:Normand et croisé abattu à 24-30 mois	242
-tardif abattu à 24-28 mois	220
-tardif abattu à 32-36 mois	227
Génisses	
-précoce issue des troupeaux laitiers abattue à 24-28 mois	242
-tardive issue des troupeaux allaitants abattue à 24-28 mois	220
Mâles en croissance	
-précoce de type laitier	38,7
-tardif de race à viande	34,6

* L'exposant b du poids vif est égal à 0.6 chez les bovins à l'engrais et à 0.9 chez les bovins en croissance.

Analyse des résultats

La capacité d'ingestion augmente de moins en moins rapidement, avec le poids de l'animal, lorsque celui-ci s'engraisse, comme les auteurs l'avaient déjà observé (GEAY *et al.*, 1978). Ceci avait conduit à cette époque, à affecter au coefficient "a" du poids, des valeurs décroissantes, au fur et à mesure que s'accroissait le poids. Comme nous l'avons vu précédemment, c'est pour tenir compte d'une façon plus simple de cette évolution, que les valeurs respectives de 0,9 et 0,6 ont été adoptées pour l'exposant "b" du poids, pour les animaux en croissance et les animaux à l'engrais. Ce mode d'expression général doit cependant être nuancé dans la pratique du calcul des rations. Il ne rend pas compte, en effet, de la nécessaire adaptation des animaux aux régimes, en début de période d'alimentation. Ainsi, les valeurs figurant dans les tables correspondent aux capacités d'ingestion maximales, observées après la phase d'adaptation de l'animal. Il convient d'en tenir compte lors du calcul des rations.

A contrario, durant la phase de finition, l'animal s'engraisse plus ou moins rapidement, selon l'objectif de croissance et le niveau d'alimentation retenus. Ainsi, en fin de période, la capacité d'ingestion d'un animal gras évoluera mois rapidement ou même diminuera, par rapport à celle d'un animal de même poids conduit de façon mois intensive et par conséquent plus maigre. Les valeurs figurant dans les tables correspondent aux valeurs maximales observées pour les poids élevés. Leur utilisation dans le calcul des rations n'est donc envisageable que si l'animal n'a pas atteint la fin de son engraissement.

La capacité d'ingestion, à même poids vif, augmente avec l'âge, au sein d'une même race. Ainsi, par exemple, en race Charolaise, la capacité d'ingestion d'un bœuf de deux ans est supérieure de 12 p 100 à celle d'un taurillon et inférieure de 3 p 100 à celle d'un bœuf de 32-36 mois. Ces écarts relatifs sont comparables chez les animaux issus des troupeaux laitiers. Au sein d'une même race et au même âge, aucune incidence du sexe n'a été observée sur la capacité d'ingestion (MICOL et BERANGER, 1981). Ainsi celle d'un bœuf est identique à celle d'un taureau ou à celle d'une génisse, engraissés de 20 à 24 mois, par exemple : 9.2 UEB à 500 kg, en race Charolaise.

La capacité d'ingestion varie de façon importante avec le type génétique des animaux. Ces écarts ont été précisés pour chacun des types de production, taurillons, bœufs et génisses. Chez les taurillons, les valeurs du coefficient "a", du poids, varient entre types génétiques extrêmes tels que Pie-Noir et Charolais ou Limousin, de 0,197 à 0,219 soit un écart de 0,9 UEB (11 %) pour un poids vif de 500 kg. Ces variations sont de l'ordre de 6 p 100 entre les taurillons Pie-Noirs et ceux de précocité intermédiaire.

Par souci de simplification les taurillons tardifs de race à viande (Charolais, Blonds d'Aquitaine, Limousins), ont été regroupés dans un même ensemble. Cependant, il serait justifié de proposer une capacité d'ingestion moindre, de l'ordre de 6 p 100, pour le génotype Limousin.

Chez les bœufs et les génisses, les capacités d'ingestion varient de 10 à 13 p 100 entre les types génétiques précoces et tardifs, à même âge, durant la finition. Celles des mâles en croissance, issus des troupeaux laitiers, sont supérieures de 12 p 100 à celles des mâles en croissance issus des troupeaux allaitants.

Disposant de peu de données, les capacités d'ingestion des taureaux reproducteurs ont été extrapolées pour les poids élevés à partir des valeurs des animaux en croissance en respectant les différences liées aux types génétiques.

La capacité d'ingestion des vaches de réforme d'origine laitière et allaitante a été déterminée à partir des essais d'alimentation sur ce type d'animal. Les valeurs proposées résultent des transformations en UEB ou UEL des quantités de ration à base d'ensilage de maïs ingérées par ces animaux. La capacité d'ingestion augmente de moins en moins rapidement avec le poids vif (b = 0,5). Elle est supérieure d'environ 8 p 100 chez les vaches de réforme issues des troupeaux laitiers.

Application au rationnement

Le principe du calcul des rations est présenté par ailleurs, tant sur le plan énergétique et azoté (GEAY et MICOL, 1988), que minéral (GUEGEN *et al.*, 1988). Nous n'examinerons ici que les limites d'application des apports recommandés.

Les valeurs figurant dans les Tables, issues des calculs précédents, ne correspondent pas, en effet, aux besoins physiologiques stricts des animaux, mais à des recommandations permettant d'obtenir, en moyenne, les performances souhaitées. Elles peuvent de ce fait être modulées selon certaines situations, pour lesquelles nous n'avons pas voulu multiplier les tableaux.

Par exemple, les apports énergétiques recommandés, pour un poids considéré, seront à moduler selon le mode d'élevage antérieur : un animal gras à 400 kg pourra supporter une restriction énergétique plus importante, qu'un animal maigre, sans modification de sa croissance. Si l'amaigrissement des carcasses continue à être prédominant dans l'avenir, une restriction énergétique légère des taurillons Pie Noirs et Normands, de l'ordre de 5 %, au-delà de 300 kg et de 7 % au-delà de 500 kg ne doit pas entraîner de modification significative des performances mais réduira leur état d'engraissement. De même, les jeunes bovins nés au printemps, allant au pâturage dès l'âge de 4-5 mois, ont, durant la période hivernale de 8 à 13 mois, des besoins de 5 à 7 % inférieurs à ceux de leurs homologues précédemment conduits à l'auge. Enfin les apports recommandés pour les vaches de réforme s'adressent à une population moyenne d'animaux de 7 à 9 ans. Les jeunes vaches réformées entre 3 et 5 ans sont capables de réaliser des performances de 8 à 10 % supérieures pour les mêmes apports énergiques.

Les apports en PDI lus dans les tableaux, représentent également le niveau d'apport jugé optimum, au-delà duquel l'accroissement de gain de poids est apparu trop coûteux en azote. Pour un poids donné, le gain de poids des bovins augmente en effet avec l'apport de PDI (disponible pour la croissance) selon la loi des rendements décroissants. C'est à dire que la réponse de l'animal à l'accroissement de l'apport de PDI est de plus en plus faible pour un même supplément. Il peut être intéressant, cependant, de dépasser ces apports recommandés lorsque les sources azotées sont bon marché, relativement au prix du gain de poids vif. Il est important, toutefois, de prendre en compte le fait que les protéines sont utilisées à des fins énergétiques avec un rendement trois fois plus faible que ne le sont les acides gras volatils provenant du rumen : utilisées comme telles elles sont donc très coûteuses. De plus certains animaux, comme les vaches de réforme, ne déposent que 4 à 6 % de leur croît sous forme de protéines. Il est donc intéressant, économiquement, de ne pas distribuer un excès de complément azoté.

Enfin, l'emploi de certains facteurs de croissance, quand il est autorisé, améliore l'efficacité d'utilisation métabolique de l'énergie et/ou de l'azote. Ce fut le cas des stéroïdes autorisés en France jusqu'au 1er janvier 1988, qui accroissaient le gain de poids des génisses de 200 g/l et celui des bœufs ou des vaches de réforme de 300 g pour un apport énergétique et azoté identique à celui des témoins. C'est le cas d'antibiotiques comme le Monensin qui réduisent les apports énergétiques et azotés de 10 % pour un même niveau de croissance.

Références bibliographiques

AGABRIEL J., D'HOUR P., PETIT M., 1987. Influence de l'âge et de la race sur la capacité d'ingestion des femelles bovines. Reprod. Nutr. Dévelop., 27 iB, 211-212.

AYALA H.J., 1974. Energy and protein utilization by cattle as related to breed, sex, level of intake and stage of growth. PHD. Dissertation. Cornell Univ. Ithaca, NY.

BINES J.A., 1975. Factors influencing voluntary food intake in cattle. In "Principles of cattle production". Ed H. SWAN - W.H. BROSTER, Butterworths, London. 287-305.

BLAXTER K.L., 1980. The efficiency of energy utilisation by beef cattle. Ann. Zootech., 29, n° h.s., 145-155.

DULPHY J.P., FAVERDIN Ph., MICOL D., BOCQUIER F., 1987. Révision du système des Unités d'Encombrement. Bull. Techn. CRZV Theix. INRA, 70.

ES. A.J.H. VAN., 1980. Net requirements for maintenance as dependent on weight, feeding level, sex and genotype, estimated from balance trials. Ann. Zootech., 29, n° h.S., 73-84.

FORBES J.M., 1986. Effects of physiological state and animal productivity. in "The voluntary food intake of farm animals" 67-85. Ed. J.M. FORBES, Butterworths, London.

GARRET W.N., 1970. The influence of sex on the energy requirements of cattle for maintenance and growth. Proc. 5th Symp. on Energy Metab. EAAP Pub. 13, 101-104. Vitznau. Switzerland.

GEAY Y., ROBELIN J., JARRIGE R., 1976. The influence of the metabolisable energy content of the diet on the efficiency of energy utilisation for young fattenting bulls. Proc. 7 th Symp. Energy Metabolism of Farm animals. EAAP Publ., 19, 225-228.

GEAY Y., ROBELIN J., BERANGER C., MICOL D., GUEGEN L., MALTERRE C., 1978. Bovins en croissance et à l'engrais. In "Alimentation des ruminants". Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr), 78000 Versailles. 297-343.

GEAY Y., ROBELIN J., 1979. Variation of meat production capacity in cattle due to genotype and level of feeding. Genotype-Nutrition interaction. Livest. Prod. Sci., 6, 263-276.

GEAY Y., 1980. Survey of the protein feeding standards used in the COST countries. Ann. Zootech., 29, n° h.s., 53-64.

GEAY Y., 1984. Energy and protein utilization in growing cattle. J. of Anim. Sci., 58 (3), 766-778.

GEAY Y., MICOL D., 1988. Alimentation des bovins en croissance et à l'engrais. In "Alimentation des Bovins. Ovins et Caprins". INRA Publications, Paris.

GUEGUEN L., LAMAND M., MESCHY F., 1988. Nutrition Minérale. In "Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins". INRA Publications, Paris.

GUEGEN L., DURAND M., MESCHY F., 1987. Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants. Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, 70.

JARRIGE R., GUEGEN L., VERMOREL M., 1978. Entretien. In "Alimentation des Ruminants". Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr), 78000 Versailles. 207-216.

JARRIGE R., DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., HODEN A., JOURNET M., BERANGER C., GEAY Y., MALTERRE C., MICOL D., PETIT M., ROBELIN J., 1979. Le système des Unités d'Encombrement pour les bovins. Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, 38,57-79.

JARRIGE R., 1988. Régulation et expression de la quantité ingérée. In "Alimentation des bovins, ovins et caprins". INRA Publications, Paris.

KARUE C.N., EVANS J.L., TILLMAN A.D., 1973. Voluntary intake of dry matter by african zebu cattle. Quality of feed and the reference base. J. of Anim. Sci., 36, 1181-1185.

MICOL D., BERANGER C., 1981. Variations de la capacité d'ingestion des bovins en croissance et à l'engrais. Bull Techn. CRZV Theix, INRA, 44, 23-31

NEIMANN-SORENSEN A., 1980. Survey of the energy feeding standards used in the COST countries and of the experimental background. Ann. Zootech., 29, n° h.s., 17-26

PIERRART M., ROUDIER J., LE STANG J.P., 1986. Les apports alimentaires recommandés pour les bovins en croissance et à l'engrais. Bilan de six années d'utilisation. In "Production de viande bovine". Ed. D. Micol. INRA, PARIS. 389-388.

REEDS P.J., CADENHEAD A., FULLER M.F., LOBLEY G.E., Mc. DONALD J.D., 1980. Protein turnover in growing pigs. Effect of age and food intake. Brit. J. Nutr. 43 : 445.

ROBELIN J., GEAY Y., 1976. Changes with age (9, 13, 16 19 months) of protein and energy utilization by growing limousin bulls. In Vermorel M. Ed. "Energy Metabolism of Farm Animals". Proc. 7 th Symp. on Energy Metab. EAAP Pub. 19, 213-216. Vichy, France.

ROBELIN J., 1986. Bases physiologiques de la production de viande : croissance et développement des bovins. in Ed. D. MICOL "Production de viande bovine". INRA Publications, Paris.

ROBELIN J., 1988. Modèle de calcul du croît de lipides et de protéines chez les bovins. Reprod. Nutr. Dévelop., (sous presse).

THERIEZ M., CASTRILLO C., VILETTE Y., 1982. Influence of metabolisable energy content of the diet and of the feeding level on lamb performances. II : Utilisation of metabolisable energy for growth and fattening. Livest. Prod. Sci., 9, 487-500.

TROCCON J.L., 1987. Recommandations alimentaires pour les veaux et génisses d'élevage. Bull. Techn., CRZV-Theix, 70.

TROCCON J.L., BERGE Ph., AGABRIEL J., 1988. Alimentation des veaux et génisses d'élevage. In "Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins". INRA Publications, Paris.

VERMOREL M., 1978. Energie. In "Alimentation des Ruminants". Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr), 78000 Versailles. 48-88.

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du système des Unités Fourragères. Bull. Techn., CRZV-Theix, 70.

WEBSTER A.J.F., LOBLEY G.E., REEDS P.J., PULLAR J.D., 1980. Protein mass, protein synthesis and heat loss in zucker rat. In "Energy Metabolism". Ed. L.E. Mount. EAAP. Pub. n°26.125-128.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 185-197

Recommandations alimentaires pour les brebis à l'entretien et en gestation

M. THERIEZ, F. BOCQUIER, A. BRELURUT

INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Production Ovine, 63122 Ceyrat.

Classiquement, et bien que ce soit artificiel, on considère que le cycle de production de la brebis est constitué de 3 phases principales : l'entretien, la gestation et la lactation.

Nous traiterons les deux premières (entretien et gestation) dans le présent article et la lactation dans un second (BOCQUIER *et al.*, 1987c, dans ce numéro).

En 1978 de nombreux travaux réalisés sur la brebis en gestation avaient permis de déterminer le rendement d'utilisation des PDI, appliqué ensuite aux autres espèces, et de l'énergie métabolisable. Pour cette dernière une valeur constante, indépendante de la concentration énergétique du régime, avait alors été retenue. Les résultats publiés depuis ont permis d'affiner ces rendements en PDI selon le stade de gestation et de différencier des rendements d'utilisation de l'EM en fonction des caractéristiques de la ration comme pour la lactation.

D'autre part, l'utilisation des apports recommandés, tant par les praticiens que par nous mêmes sur notre troupeau, nous a permis de vérifier la validité des valeurs proposées en 1978 et de formuler de nouvelles recommandations.

L'accent a également été mis sur la prévision de la consommation volontaire de fourrage. Nous avons vérifié que le système des Unités d'Encombrement est utilisable pour les brebis. Nous avons montré par contre qu'il ne peut s'appliquer, tel quel, en fin de gestation. On peut néanmoins prédire les consommations de fourrage au cours de cette phase très importante du cycle de production de la brebis par une autre méthode.

Enfin, une meilleure connaissance de la reconstitution et de l'utilisation des réserves corporelles nous permettent de mieux les intégrer dans le rationnement énergétique. Néanmoins, en fin de gestation, l'utilisation excessive de ces réserves pour rééquilibrer le bilan énergétique est à proscrire.

I. Utilisation de l'énergie par la brebis

Pour assurer le développement de ses fœtus, puis la croissance de ses agneaux, la brebis dispose de deux sources d'énergie, l'énergie métabolisable de sa ration et ses réserves corporelles qu'elle utilise avec des rendements variables selon la qualité de son régime et son état physiologique.

Le rationnement d'une brebis nécessite donc la connaissance de ces rendements et la quantification des réserves disponibles ou à reconstituer.

1. Les rendements d'utilisation de l'énergie

1.1. La brebis à l'entretien

Le rendement (km) d'utilisation de l'Energie Métabolisable (EM) pour l'entretien est rapporté par VERMOREL *et al.* (1987, dans ce numéro). Le besoin énergétique des brebis que nous avons retenu est identique à celui publié en 1978 : 95 kcal d'énergie métabolisable ou 0,033 UFL/kg $PV^{0,75}$.

En fait on sait que ce besoin augmente lorsque les animaux doivent lutter contre le froid (BOCQUIER *et al.*, 1987c, dans ce numéro) mais on sait également que la digestibilité des aliments, donc leur valeur énergétique varie avec la température (KENNEDY *et al.*, 1977). Faire varier les besoins d'entretien avec la température nécessiterait donc l'emploi de tables d'aliments qui intégreraient l'effet de ce facteur, tables dont on ne dispose pas aujourd'hui. C'est pourquoi nous avons retenu un besoin d'entretien constant pour les animaux en bergerie. On admet ainsi que les variations de la capacité d'ingestion de l'animal selon la température (paragraphe IV.3.1) permettent de compenser les variations de son besoin d'entretien.

1.2. Pendant la gestation

En 1978, un rendement moyen de 0,13 avait été retenu pour l'utilisation de l'EM (kc : k conceptus). Depuis, ROBINSON *et al.* (1980) ont montré que kc pouvait varier de 0,09 à 0,20 selon la concentration énergétique de la ration suivant l'équation :

kc = 0,145 + 0,121 (EM − 2,50) (EM = Energie Métabolisable exprimée en kcal/kgMS)

Ces variations de kc sont faibles en valeurs absolues mais très importantes en valeurs relatives. Ainsi, pour des rations composées de foin seul ou complétées avec 30 % d'aliment concentré, le rendement kc varie de 0,097 à 0,136.

L'effet de la concentration énergétique sur le rendement d'utilisation de l'EM pour les principales fonctions (entretien, gestation, lactation) est classiquement estimé à partir d'équations de régression où le rapport q = EM/EB est la variable explicative. Dans le cas de la gestation le coefficient de régression est de 0,53 (ROBINSON *et al.*, 1980), valeur intermédiaire entre celles mesurées pour la croissance (0,78) et l'entretien (0,29) ou la lactation (0,24) et très dépendante de q.

L'estimation correcte des besoins en énergie nette pour la gestation nécessiterait donc l'utilisation d'une Unité Fourragère de Gestation. Cependant, compte tenu de la brièveté de cette période et des inconvénients liés aux changements d'unité, nous avons exprimé les besoins en UFL. Nous avons cependant retenu deux valeurs pour kc correspondant à 2 niveaux de concentré dans la ration : 0,135 pour des brebis portant 1 ou 2 fœtus et pour lesquelles la ration de fin de gestation comporte souvent un très bon foin et 10 à 20 % d'aliment concentré et 0,145 pour les brebis prolifiques portant 3 fœtus et recevant plus de 30 % d'aliment concentré dans leurs rations.

Il n'est pas recommandé de faire mobiliser les réserves lipidiques chez la brebis en fin de gestation puisque le rendement global de l'énergie métabolisable ingérée et des réserves (krc) est faible ; environ 0,13 selon ROBINSON *et al.* (1980). Ce rendement krc serait de 0,09 lorsque la mobilisation est modérée et de 0,19 lorsqu'elle est très intense.

2. Valeur énergétique des variations de poids vif

Au cours du cycle gestation-lactation, les écarts relatifs de poids vif d'une brebis peuvent atteindre 20 à 30 % ; soit par exemple un poids vif de 75 kg en fin de gestation, 55 kg après 6 semaines de lactation puis 65 kg lors de la lutte suivante.

Ces variations de poids vif peuvent servir de guide à l'éleveur pour adapter le régime aux besoins de l'animal, elles sont donc à la base du calcul des rations. Le contenu énergétique du kg de perte ou de gain de poids varie selon les auteurs, et les données de la bibliographie ne permettent pas de retenir une valeur moyenne commune. Nous avons donc regroupé l'ensemble de nos résultats obtenus par la méthode d'estimation «in vivo» de la composition corporelle (TISSIER *et al.*, 1983 ; BOCQUIER et THERIEZ, 1984) appliqué à des brebis taries qui gagnent ou perdent du poids vif (à régimes constants) (Figure 1). La perte d'1 kg de poids vif libère 3,88 Mcal d'énergie (40 à 50 % de lipides) alors qu'un gain d'un kg correspond au stockage de 9,72 Mcal (100 % de lipides). Le chiffre moyen de 5,5 Mcal/kg avait été retenu en 1978.

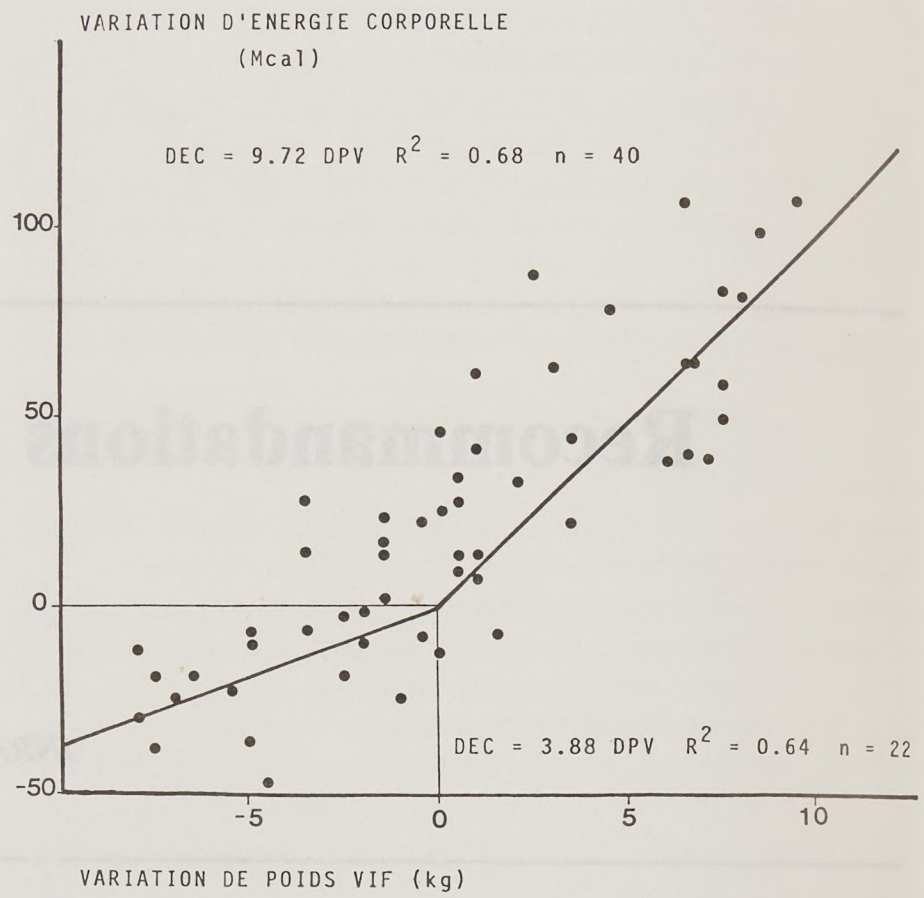


FIG. 1 : *Relation entre les variations d'énergie corporelle (DEC) et les variations de poids vif (DPV) des brebis taries.*

La transformation des variations de poids vif en énergie corporelle n'est pas toujours aisée car les contenus digestifs peuvent beaucoup varier suivant les régimes alimentaires. C'est pourquoi on peut préférer dans la pratique, la méthode des notes d'état corporel proposée par RUSSEL *et al.* (1969).

Une variation de 1 point de la note d'état corporel des brebis taries correspond à une variation de 13 % de leur poids vif (MLC, 1983). Nous avons reporté sur le Tableau 1 les notes d'état corporel que doivent atteindre les brebis au moment de la lutte et en cours de gestation.

TABLEAU 1

Notes d'état corporel recommandées pour la gestation

Stade physiologique	Note moyenne recommandée*	Observations
Lutte	3 à 3,5	Flushing efficace si la note est comprise entre 2,5 et 3,0.
90 j de gestation	3 à 3,5	Eventuellement 2,5 pour troupeaux à très faible prolificité.
		En cas de note inférieure à 3,0 accroître de 10 % les apports recommandés en fin de gestation.
Agnelage	3,5	Note d'état à atteindre impérativement pour les brebis prolifiques : 3,5.

* de 0 à 5

II. Utilisation de l'azote par la brebis

Le rendement d'utilisation des PDI, déterminé pour les deux stades physiologiques de la brebis (l'entretien, la gestation) à partir des données bibliographiques et des nouvelles valeurs PDI des aliments a permis de calculer les besoins et apports correspondants.

1. La brebis à l'entretien

Nous avons retenu parmi les données de ELLIOT et TOPPS (1964), ROBINSON et FORBES (1966) et PAPAS (1977) celles correspondant à des bilans azotés compris entre −0,125 et +0,340 de MAT g/kg $P^{0,75}$/j et à des apports de 1,08 à 4,96 g de PDI/kg $P^{0,75}$/j.

Le rendement d'utilisation des PDI est obtenu à partir de l'équation (1) :

(1) MAR = + 0,407 PDI − 0,792 (R^2 = 0,820 ; n = 27)

où MAR est la quantité de protéines fixées, et PDI la quantité de protéines digestibles dans l'intestin (MAR, PDI sont exprimées en g/kg $P^{0,75}$/j.

Ce rendement s'élève à 40,7 p. 100 arrondi à 41 p. 100 pour la fixation de protéines dans la laine et/ou dans la masse corporelle.

Les besoins en PDI ont été calculés à partir de cette équation. Une brebis de 60 kg produisant une toison de 4 kg par an, fixe 0,22 g de protéines/kg $P^{0,75}$/j et son besoin d'entretien s'élève à 2,50 g/kg $P^{0,75}$/j soit 54 g/j. Pour les races dont la toison est moins développée (1,5 à 2 kg, Lacaune ou Préalpes par exemple) le besoin d'entretien n'est que de 2,23 g/kg $P^{0,75}$/j soit 48 g/j pour des animaux de 60 kg de poids vif.

Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles retenues en 1978 car le rendement retenu alors s'élevait à 53 p. 100 (INRA, 1978).

2. La brebis en gestation

Les données bibliographiques disponibles pour le calcul du rendement des PDI au cours de la gestation peuvent être réparties en quatre groupes correspondant à des périodes différentes de la gestation :

- au cours de la gestation sans précision de la période (après 4 semaines : Mac CLELAND et FORBES (1970), ROBINSON et FORBES (1970), ROBINSON (1973) ;
- en début de gestation (10 à 13 semaines après la lutte : ROBINSON et FORBES, 1967) ;
- au milieu de la gestation (14 à 16 semaines : KLOSTERMAN *et al.* (1953), ROBINSON et FORBES (1967), Mac CLELAND et FORBES (1971)) ;
- en fin de gestation (KLOSTERMAN *et al.*, 1953, ROBINSON et FORBES, 1967 et Mac CLELAND et FORBES, 1971).

Les équations permettant de calculer les rendements sont les suivantes :

période non déterminée =
(2) MAR = 0,390 PDI − 0,746 (R^2 = 0,519 ; n = 15)

en début de gestation =
(3) MAR = 0,365 PDI − 0,657 (R^2 = 0,928 ; n = 8)

en milieu de gestation =
(4) MAR = 0,508 PDI − 0,757 (R^2 = 0,702 ; n = 14)

en fin de gestation =
(5) MAR = 0,632 PDI − 0,992 (R^2 = 0,808 ; n = 14)

Au début de la gestation le rendement d'utilisation des PDI est de 36 p. 100, ce qui est en accord avec les mesures faites sur les brebis à l'entretien (41 p. 100). Ce rendement s'élève au cours de la gestation : 51 p. 100 et 63 p. 100. Les rendements calculés sur des périodes mal définies sont proches de ceux observés sur les brebis à l'entretien (39 p. 100).

L'équation (6) établie sur l'ensemble des données disponibles :

(6) MAR = 0,417 PDI − 0,609 (R^2 = 0,745 ; n = 51)

donne 42 p. 100 comme valeur moyenne du rendement d'utilisation des PDI pendant la gestation.

Ce rendement est beaucoup plus faible que celui retenu en 1978 (60 p. 100) et qui avait été établi pour la fin de la gestation.

Extrapolées à MAR = 0, les équations (2) à (6) aboutissent à des besoins d'entretien inférieurs à ceux des brebis taries. Ceci peut correspondre à une moindre croissance de la laine en fin de gestation.

III. Les besoins et apports recommandés pendant la gestation

Les 5 mois de la gestation d'une brebis sont classiquement répartis en 3 périodes correspondant à des phénomènes physiologiques et à des besoins nutritionnels très différents. Au cours des deux premières périodes (début et milieu de la gestation), qui durent 3 mois environ, la croissance foetale est très lente puisque les quantités totales d'énergie et de protéines fixées à 90 j ne s'élèvent qu'à 0,3 Mcal et 48 g respectivement pour un agneau qui pèsera 5 kg à terme. Les besoins nutritionnels dus à la gestation sont donc très faibles au cours de ces trois premiers mois. Ils vont ensuite s'élever très rapidement pendant les 2 derniers mois, la croissance d'un fœtus pouvant dépasser 120 g/j au cours de la dernière semaine de la gestation. C'est donc sur cette dernière période que porte exclusivement ce paragraphe.

1. Les besoins pendant la gestation

Ces besoins sont déterminés par la méthode factorielle dont nous présenterons les étapes successives.

1.1. Composition du fœtus à terme

Lors de la rédaction des recommandations précédentes (INRA, 1978) la confrontation des résultats disponibles dans la littérature nous avait permis de déterminer une composition moyenne de l'agneau à terme : 1,1 Mcal, 150 g de protéines ; 11 g de calcium et 6,5 g de phosphore par kg de poids à la naissance quel que soit le poids de l'animal et son mode de naissance. Depuis, l'ARC (1980) a retenu pour déterminer les besoins de gestation une composition variable selon le poids à la naissance : 150 ou 175 g de protéine par kg de poids à la naissance pour des agneaux de 2 ou 5 kg par exemple. D'autres publications ont permis de préciser les effets du poids et de la taille de la portée sur la composition de l'agneau : Mac DONALD *et al.*, (1979) : fœtus à terme ; VILLETTE et AUROUSSEAU (1981) . agneaux nouveau-nés ; VILLETTE et THERIEZ (1984) : fœtus et agneaux nouveau-nés ; PASTOUREAU (non publié) : agneaux âgés de deux jours en moyenne. L'ensemble de ces résultats est regroupé sur le Tableau 2 pour deux poids de référence : 4,5 et 2,5 kg.

TABLEAU 2

Composition chimique de l'agneau nouveau-né (effet de la race et du poids à la naissance)

Référence et race des agneaux	Poids kg	TENEUR Eau g/kg	Protéines g/kg	Lipides g/kg	Cendres g/kg	Calcium g/kg	Phosphore g/kg	Energie
MAC DONALD et al., (1979)								
Suffolk x (Finn x Dorset)	4,5	787	147	25	35	9,9	5,4	1,06
	2,5	803	136	20	32	9,1	5,3	0,95
VILLETTE et AUROUSSEAU (1981)								
Limousin	4,5	768	159	-	42	11	4,8	1,10
	2,5	768	157	-	43	12	5,5	1,10
Romanov	2,5	760	159	-	43			1,19
Romanov x Limousin	4,5	716	207	-	44	12	4,9	1,35
	2,5	756	171	-	43	12	5,3	1,15
Ile de France	4,5	758	170	-	38	12	4,6	1,18
	2,5	760	161	-	41	13	4,7	1,18
I de F x (Rom x Lim)	4,5	763	163	-	39	10	5,1	1,15
	2,5	763	162	-	42	10	5,1	1,11
VILLETTE et THERIEZ (1984)								
Ile de France	4,5	764	166	-	40	-	-	1,17
	2,5	763	164	-	42	-	-	1,11
PASTOUREAU (non publié)								
I de F x (Rom x Lim)	4,5	721	189	59	41	11	6,9	1,51
	2,5	729	176	41	43		5,2	1,36

Les écarts de teneur en eau observés par les différents auteurs (de 79 à 72 % pour un même poids de 4,5 kg) correspondent à l'évolution normale de la composition corporelle au cours de cette période de vie de l'agneau et aux erreurs de pesée dues à l'humidité de la toison des fœtus et des nouveau-nés.

La composition de l'agneau nouveau-né est indépendante du poids à la naissance pour les Limousins, Ile de France et Croisés Ile de France analysés par VILLETTE et AUROUSSEAU (1981) et VILLETTE et THERIEZ (1984). Inversement, Mac DONALD *et al.* (1979) observent une réduction progressive et significative des teneurs en protéines, lipides, cendres et énergie de la masse corporelle de l'agneau Suffolk × (Finn × Dorset) comme VILLETTE et AUROUSSEAU (1981) sur Romanov × Limousin et PASTOUREAU (non publié) sur Ile de France × (Romanov × Limousin).

Nous avons donc retenu comme composition corporelle moyenne de l'agneau à la naissance les valeurs suivantes :

— pour les agneaux issus de portées simples et doubles pesant de 3,5 à 5 kg à la naissance des teneurs de 1,18 Mcal et 165 g de protéines par kg de poids vif ;
— pour des agneaux issus de portées plus importantes et pesant moins de 3,5 kg, c'est-à-dire le plus souvent des agneaux issus de brebis prolifiques, des teneurs de 1,06 Mcal et 145 g de protéines par kg à la naissance.

Ces teneurs sont voisines de celles fixées en 1978 pour l'ensemble des agneaux. Ceux qui pèsent plus de 3,5 kg (portées de 1 et 2) ont par contre des teneurs en énergie et en protéines supérieures de 13 et 10 % et correspondent aux valeurs moyennes proposées par l'ARC (1980).

Nous disposons également de données récentes sur la composition minérale des agneaux nouveau-nés (Mac DONALD *et al.*, 1979, VILLETTE et AUROUSSEAU, 1981 ; PASTOUREAU, non publié). Selon ces auteurs, la teneur en phosphore de l'agneau nouveau-né varie entre 4,5 et 5,4 g/kg soit 13 % de moins que la valeur retenue en 1978 (6,5 g) tandis que la teneur en calcium peut atteindre 12 à 13 g soit 13 % de plus que celle retenue en 1978 (11 g). Les teneurs en magnésium (0,20 à 0,46 g/kg) sont identiques aux valeurs antérieures alors que celles de K et Na sont sensiblement plus faibles : 1,5 à 1,6 g de K/kg contre 1,9 et 1,6 à 1,7 g de Na/kg contre 2,4. Ces teneurs en minéraux varient très peu avec le poids à la naissance et peuvent donc être considérées comme indépendantes de la taille de la portée.

Pour tenir compte de ces différences, les besoins et apports alimentaires recommandés seront donc augmentés de 15 % pour le calcium par rapport aux besoins proposés en 1978. Les besoins en phosphore seront par contre identiques.

1.2. Evolution du poids du fœtus au cours de la gestation

L'évolution du poids du fœtus peut être décrite par une courbe du type exponentiel à partir de laquelle, connaissant le poids moyen d'un fœtus à terme, il est possible de déduire son poids aux différents stades de la gestation. La courbe établie en 1978 est en bon accord avec celle de ROBINSON *et al.* (1977) pour l'estimation des poids des portées de 2, 3 et 4 agneaux au cours des 4 dernières semaines de la gestation, elle en diverge par contre très fortement au cours du 4e mois. Les valeurs prévues à partir de l'équation INRA (1978) pour des portées de même poids à terme sont systématiquement plus élevées et pratiquement le double de celles obtenues à partir de l'équation de ROBINSON *et al.* (1977). Huit semaines avant terme le poids de la portée représente 10 % du poids à terme selon l'ARC (1980), 15 % selon ROBINSON *et al.* (1977) et 32 % selon INRA (1978).

Cette différence provient de l'origine des données disponibles et des régimes alimentaires distribués aux brebis au cours des essais correspondants. Trois publications ont été utilisées en 1978 pour établir l'équation de prédiction (WALLACE (1948), LODGE et HEANEY (1973) et RATTRAY *et al.* (1974)) or, dans deux de ces publications (WALLACE, RATTRAY) les auteurs ont soumis une partie des animaux à des régimes haut ou bas au cours des 2 à 3 derniers mois de la gestation et ont

observé un effet très significatif du traitement sur le poids de la portée à terme. De même LODGE et HEANEY ont fortement sous-alimenté leurs brebis tout au long de la gestation.

C'est pourquoi nous n'avons utilisé qu'une partie des données de WALLACE (1948) et de RATTRAY *et al.* (1974), (celles qui correspondaient aux régimes «haut»), et les résultats de ROBINSON *et al.* (1977) pour établir le Tableau 3 décrivant l'évolution du poids relatif du fœtus en fin de la gestation.

TABLEAU 3

Evolution relative du poids des fœtus au cours de la gestation exprimé en pour cent du poids à terme selon la taille de la portée

Taille de la portée	Stade de gestation (semaines avant la naissance)					
	-8	-6	-4	-2	-1	0
1	12	26	44	66	82	100
2	13	29	49	69	85	100
3	14	30	50	74	87	100
4	15	31	52	76	88	100

1.3. Quantités de nutriments déposés dans le fœtus et dans l'utérus gravide

Les quantités de nutriments fixées par le fœtus chaque jour sont déterminées à partir des valeurs du Tableau 3 et de sa composition aux stades retenus. Celle-ci figure sur le Tableau 4 établi à partir des résultats d'analyses de LODGE et HEANEY (1973), RATTRAY *et al.* (1974), Mac DONALD *et al.* (1979) et VILLETTE et THERIEZ (1984) ainsi que de la composition de l'agneau nouveau-né retenue précédemment. Les quantités fixées dans l'utérus gravide ont été déduites des valeurs obtenues pour le fœtus en tenant compte de la part qu'il représente dans le dépôt quotidien.

TABLEAU 4

Evolution de la composition du fœtus au cours des deux derniers mois de gestation selon la taille de la portée

Composant	Taille de la portée	Stade de gestation (semaines avant la naissance)				
		-8	-6	-4	-2	0
Eau (g/kg)	1 et 2	880	850	830	820	760
	3, 4 et plus	885	860	850	840	790
Protéines (g/kg)	1 et 2	80	95	110	145	165
	3, 4 et plus	80	95	99	130	144
Lipides (g/kg)	1 et 2	8	15	18	21	30
	3, 4 et plus	5	10	16	19	27
Energie (Mcal/kg	1 et 2	0,52	0,67	0,78	1	1,18
	3, 4 et plus	0,45	0,6	0,7	0,9	1,06

Le fœtus ne représente, en effet, qu'une fraction des nutriments déposés dans l'utérus gravide au cours de la gestation. Cette fraction dépend du stade physiologique (elle augmente au fur et à mesure que le terme approche) et de la taille de la portée (elle est moindre pour les portées de taille importante en races prolifiques). En l'absence de données nouvelles, depuis 1978, nous conserverons les mêmes rapports poids du fœtus/poids de l'utérus gravide : 61 à 63 % de la masse totale, 80 à 81 % de l'énergie et 78 à 80 % des protéines fixées. Les valeurs les plus élevées correspondent aux portées de 1 et 2 agneaux, les plus faibles aux portées de 3 agneaux et plus.

1.4. Les besoins stricts de gestation

Les quantités de nutriments déposées quotidiennement (Tableau 5) et les rendements d'utilisation de l'énergie et des protéines retenus plus haut permettent de déterminer les besoins stricts pour la gestation. Ces besoins, rapportés à 1 kg de fœtus à terme, s'élèvent au cours des 4 dernières quinzaines de la gestation

— pour l'énergie à :

74, 126, 222 et 326 kcal EM/j soit 0,026 ; 0,043 ; 0,078 et 0,110 UFL/j pour des brebis portant 1 ou 2 fœtus qui pèsent chacun 3,5 kg ou plus à terme.

69, 96, 186 et 289 kcal EM/j soit 0,024 ; 0,033 ; 0,064 et 0,098 UFL/j pour des brebis prolifiques portant 3 agneaux ou plus de faible poids à la naissance.

— pour les PDI à :

2,7 ; 4,3 ; 6,7 ; 9,2 g de PDI/j pour les portées de 1 ou 2 agneaux 2,7 ; 4,3 ; 6,5 et 7,0 g de PDI/j pour les portées de taille supérieure.

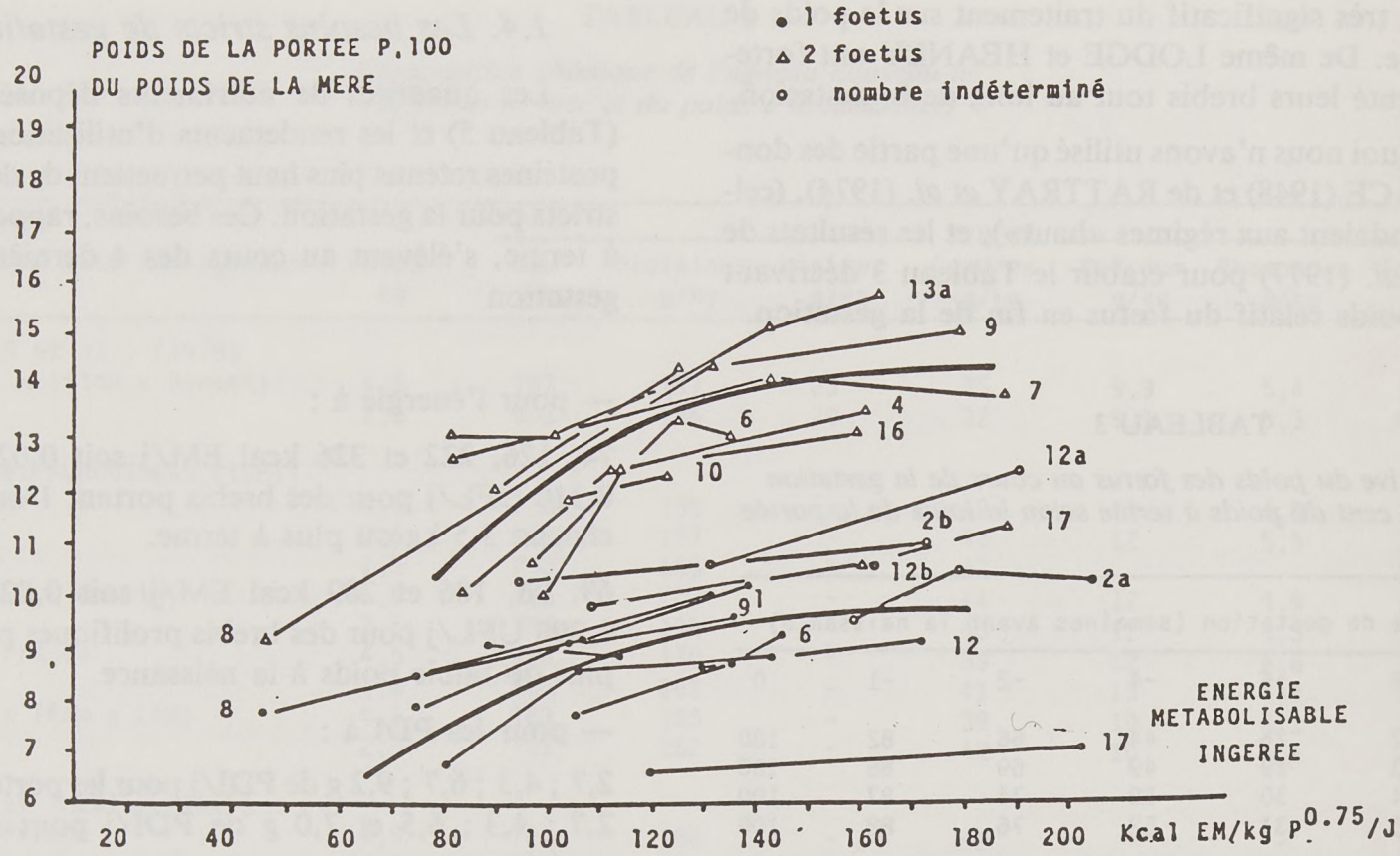
TABLEAU 5

Quantités de nutriments fixées par jour selon le stade de gestation et la taille de la portée : (g ou kcal par kg d'agneau à terme)

Quantités fixées par l'utérus gravide	Taille de la portée	Stade de gestation (semaines avant la naissance)			
		-6 à -8	-4 à -6	-2 à -4	0 à -2
Poids	1 et 2	17	24	28	35
	3 et plus	18	24	24	29
Protéines	1 et 2	1,4	2,2	4,2	5,8
	3 et plus	1,4	2,2	4,1	4,4
Lipides	1 et 2	-	0,4	0,5	1,3
	3 et plus	-	0,4	0,5	1,2
Energie	1 et 2	10	17	30	44
	3 et plus	10	14	27	42
Quantités fixées en g/j ou en Kcal/j pour une brebis portant :					
1 agneau (soit 5 kg)	Poids	85	120	140	175
	Protéines	7	11	21	29
	Energie	50	85	150	220
3 agneaux (soit 7.5 kg)	Poids	135	180	180	217
	Protéines	10	15	31	33
	Energie	75	105	202	240

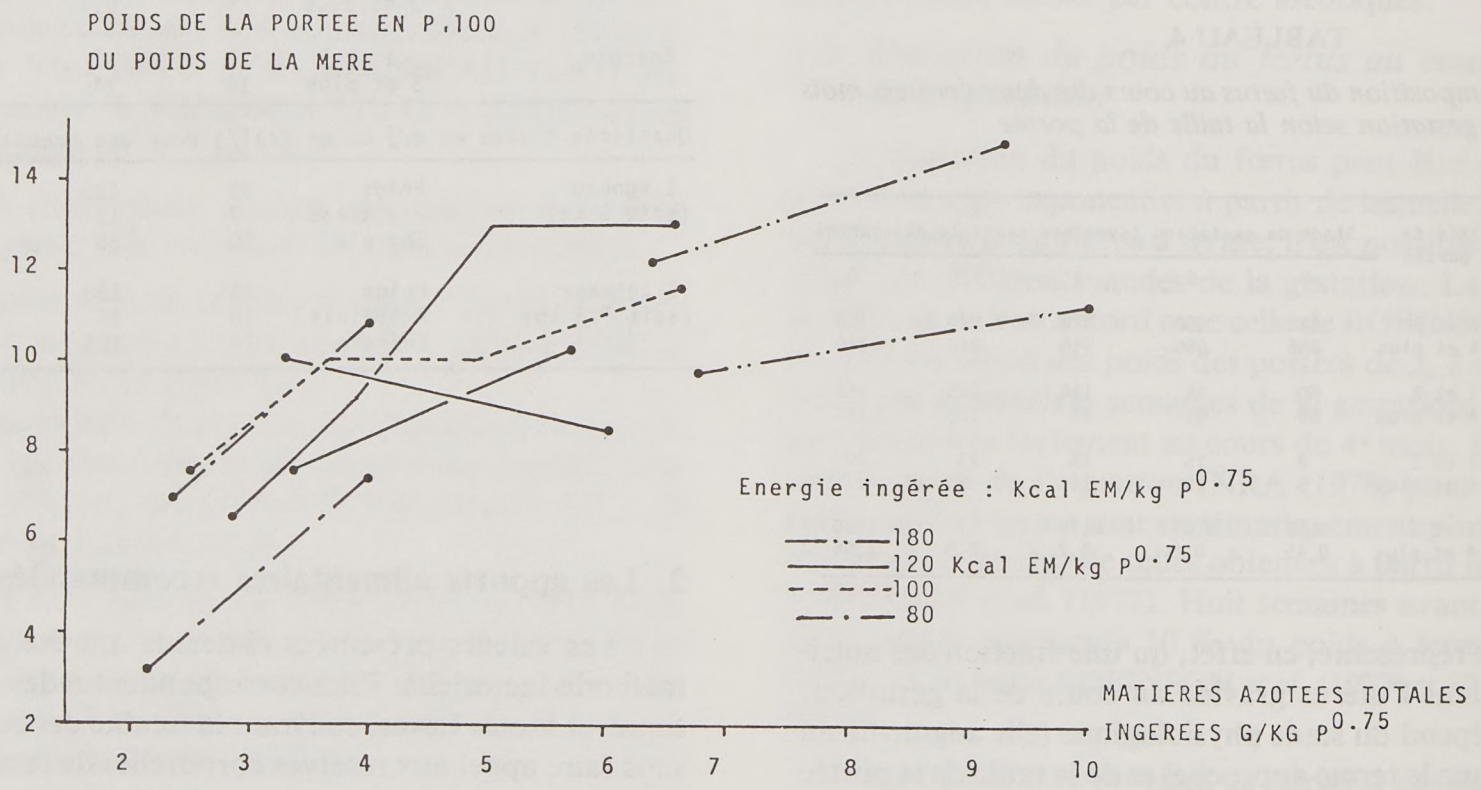
2. Les apports alimentaires recommandés

Les valeurs présentées ci-dessus ont été obtenues par la méthode factorielle. Elles correspondent à des apports énergétiques et azotés élevés, couvrant la totalité des besoins du fœtus, sans faire appel aux réserves corporelles de la mère. Or on dispose d'autres estimations du besoin de gestation, tirées d'essais au cours desquels les brebis ont reçu différents niveaux constants d'énergie pendant les 6 à 8 dernières semaines de la gestation et dans lesquels on a cherché à déterminer le niveau d'apport minimum compatible avec un poids à la naissance satisfaisant de l'agneau. Ces résultats sont reportés sur les Figures 2 (Energie) et 3 (Azote).



1 : ROBINSON et al., 1973
2 : SHEVAH et al., 1975
4 : RUSSEL et al., 1977
6 : SHEEHAN et LAWLOR 1972
7 : PRIOR et CHRISTENSON 1976
8 : THOMSON et THOMSON 1949
9 : RUSSEL et al., 1967
10 : ROBINSON et FORBES 1968
11 : Mc CLELAND et FORBES 1973
12 : LOUCA et al., 1974
13 : RATTRAY et IRIGG 1981
16 : TREACHER 1970
17 : TREACHER 1971

FIG. 2 : *Relations entre le niveau des apports énergétiques en fin de gestation et le poids des agneaux à la naissance en proportion du poids de la brebis.*



1 : ROBINSON et FORBES 1968
2 : SYKES et FIELD 1972
3 : PARKINS et al., 1974
4 : FORBES et ROBINSON 1967

FIG. 3 : *Relation entre le niveau des apports azotés en fin de gestation et le poids des agneaux à la naissance en proportion du poids de la mère.*

L'examen de ces deux figures laisse apparaître une différence très importante entre l'énergie et l'azote. Alors que des apports énergétiques ont un effet négligeable sur le poids à la naissance des agneaux dès qu'ils dépassent en moyenne 120 kcal EM/kg $P^{0,75}$ de la mère pour les portées de un agneau et 140 pour celles de 2, les quelques résultats disponibles n'ont pas permis d'observer un phénomène similaire pour les apports azotés.

C'est pourquoi nous adopterons comme apports recommandés les valeurs suivantes :

— pour l'énergie :

50, 125 et 220 kcal EM ou 0,017 ; 0,044 et 0,076 UFL par kg de fœtus à terme pour chacune des trois dernières quinzaines de la gestation des brebis portant 1 ou 2 agneaux.

40, 110 et 180 kcal EM ou 0,013 ; 0,038 et 0,062 UFL par kg de fœtus à terme pour les portées de taille supérieure au cours de chacune de ces 3 quinzaines.

Ces valeurs appliquées à des brebis de 70 kg portant 1 agneau de 4,5 kg à terme ou 2 agneaux de 8 kg à terme donnent comme apports alimentaires recommandés : 104, 120 puis 135 kcal EM/kg $P^{0,75}$ pour la première et 110, 136 et 168 kcal EM/kg $P^{0,75}$ pour la seconde, c'est-à-dire les valeurs moyennes de la Figure 2. Elles sont en bon accord avec les recommandations de l'ARC (1980) et du MLC (1983).

TABLEAU 6

Apports alimentaires recommandés en fin de gestation (à ajouter aux besoins d'entretien Tableau 7)

Poids de la portée (kg)	Période de référence (semaines)	Apports quotidiens UFL	PDI (g)	Ca (g)	P (g)
4	-6 à -4	0,07	21	2,0	0,5
	-4 à -2	0,17	40	3,2	0,8
	-2 à 0	0,31	54	5,3	1,3
5	-6 à -4	0,08	26	2,5	0,6
	-4 à -2	0,22	50	4,0	1,0
	-2 à 0	0,39	65	6,6	1,7
6	-6 à -4	0,10	31	3,0	0,7
	-4 à -2	0,27	60	4,8	1,2
	-2 à 0	0,46	75	8,0	2,0
7	-6 à -4	0,12	36	3,5	0,9
	-4 à -2	0,30	69	5,6	1,4
	-2 à 0	0,52	86	9,3	2,3
8	-6 à -4	0,12	42	4,0	1,0
	-4 à -2	0,36	78	6,4	1,6
	-2 à 0	0,56	97	10,6	2,6
9	-6 à -4	0,13	47	4,5	1,2
	-4 à -2	0,36	82	7,2	1,8
	-2 à 0	0,60	108	12,0	3,0
10	-6 à -4	0,14	52	5,0	1,3
	-4 à -2	0,38	95	8,0	2,0
	-2 à 0	0,64	118	13,2	3,3
Par kg au-delà de 10 kg	-6 à -4	0,013	5	0,5	0,1
	-4 à -2	0,038	10	0,8	0,2
	-2 à 0	0,062	12	1,3	0,3

— pour les protéines :

Un rendement de 42 p. 100 a été utilisé pour le calcul des apports recommandés en gestation, d'une part parce que les quelques données bibliographiques disponibles montrent que, quel que soit le niveau du lot témoin, tout accroissement de l'apport d'azote entraîne une augmentation du poids de la portée donc que les besoins en azote sont très élevés (voir le paragraphe «besoins de la brebis en gestation»).

D'autre part parce que, les apports recommandés en énergie pour la gestation étant inférieurs aux besoins stricts, la brebis qui mobilise ses réserves corporelles doit disposer de nutriments pour produire le glucose nécessaire aux fœtus (néoglucogénèse). Les acides aminés étant une source importante de ces nutriments, jusqu'à 60 %, il est indispensable que leur apport soit supérieur aux besoins stricts. Ceci est possible en utilisant, pour la fin de la gestation, un rendement inférieur à la valeur observée.

Enfin, dernier élément de ce choix, l'application stricte des apports recommandés de 1978 à notre troupeau a entraîné une fréquence élevée de toxémies de gestation qui a été réduite par un accroissement du niveau des apports azotés.

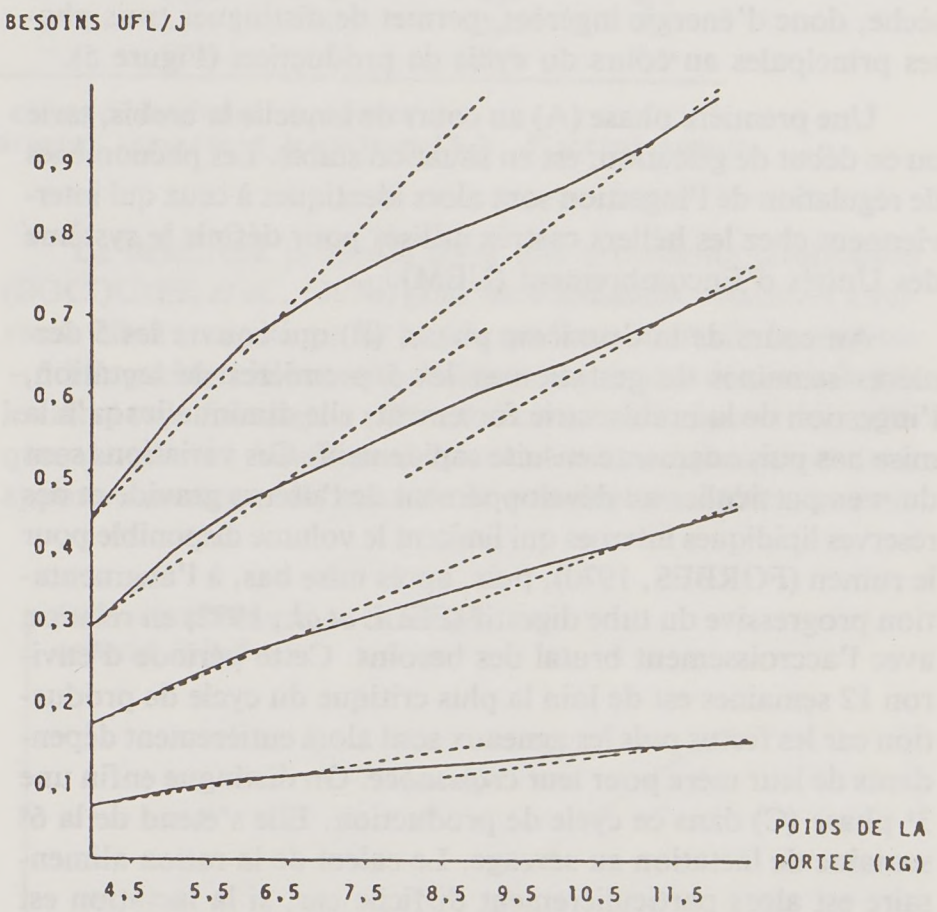


FIG. 4 : *Apports alimentaires recommandés pour la fin de la gestation selon le poids de la portée.*

Les apports recommandés pendant la gestation s'élèvent à 3,3 et 5,2 g de PDI par kg de fœtus à terme et par jour, au cours des quinzaines −4 et −3, quel que soit le poids de l'agneau à la naissance. Ils s'élèvent ensuite à 10,0 et 13,8 g/kg fœtus/j pendant les deux dernières quinzaines de la gestation pour les portées de 1 et 2 agneaux et à 9,5 et 10,5 g/kg fœtus/j pour les portées de 3 agneaux et plus.

L'adoption de valeurs énergétiques, de rendements d'utilisation de l'énergie métabolisable et de teneurs en protéines différentes selon la taille de la portée aboutit à des écarts très importants entre les apports recommandés pour une même brebis qui porterait 2 agneaux de 4 kg chacun ou 3 de 2,7 kg. C'est pourquoi nous avons établi des équations générales qui peuvent être utilisées quelle que soit la taille de la portée, et qui sont représentées sur la Figure 4.

L'écart maximum entre les apports recommandés pour une brebis portant 2 fœtus de 4,5 kg et les valeurs extraites des recommandations précédentes s'élève à 0,02 ; 0,03 et 0,08 UFL par jour au cours des 3 dernières quinzaines de gestation et le déficit en PDI est voisin de 16 g au cours des deux dernières semaines. Ces écarts sont faibles : 5 % au maximum du besoin total en énergie pour une brebis de 70 kg et 9 % des besoins en PDI. Ils sont d'autant plus tolérables que des portées de deux agneaux pesant 9 kg au total sont rares.

Ces équations ont été utilisées pour établir les recommandations alimentaires pour la brebis en fin de gestation qui sont présentées sur le Tableau 6.

IV. Application aux brebis du système des Unités d'Encombrement

L'évolution comparée des besoins énergétiques d'une brebis portant puis allaitant deux agneaux et des quantités de matière sèche, donc d'énergie ingérées, permet de distinguer trois phases principales au cours du cycle de production (Figure 5).

Une première phase (A) au cours de laquelle la brebis, tarie ou en début de gestation, est en situation stable. Les phénomènes de régulation de l'ingestion sont alors identiques à ceux qui interviennent chez les béliers castrés utilisés pour définir le système des Unités d'Encombrement (UEM).

Au cours de la deuxième phase, (B) qui couvre les 5 dernières semaines de gestation et les 5 premières de lactation, l'ingestion de la brebis varie fortement, elle diminue jusqu'à la mise bas puis augmente ensuite rapidement. Ces variations sont dues en particulier au développement de l'utérus gravide et des réserves lipidiques internes qui limitent le volume disponible pour le rumen (FORBES, 1970), puis, après mise bas, à l'augmentation progressive du tube digestif (FELL *et al.*, 1972) en relation avec l'accroissement brutal des besoins. Cette période d'environ 12 semaines est de loin la plus critique du cycle de production car les fœtus puis les agneaux sont alors entièrement dépendants de leur mère pour leur croissance. On distingue enfin une 3e phase (C) dans ce cycle de production. Elle s'étend de la 6e semaine de lactation au sevrage. Le calcul de la ration alimentaire est alors particulièrement difficile car, si la lactation est bien établie, la production laitière est souvent inconnue et les agneaux consomment une partie de la ration distribuée à leurs mères, même lorsqu'ils disposent à volonté, dans un parc séparé, de fourrage et d'aliment concentré.

Dans le cas des brebis laitières, la capacité d'ingestion suit une évolution analogue à celle des brebis allaitantes pour ces deux premières phases (A + B) elle se maintient à un niveau plus élevé pendant la phase C.

1. La capacité d'ingestion de la brebis tarie ou en début de gestation

Les mesures comparatives réalisées avec des brebis taries et des béliers castrés montrent que celles-ci ont, à même poids vif, une capacité d'ingestion (CI, en UEM) identique à celle des mâles castrés (BOCQUIER *et al.*, 1987a) et qu'elle est très dépendante du poids vif pour des brebis en bon état corporel (note : 3 à 3,5) : $CI = 0{,}075 \times P^{0,75}$. Les brebis récemment taries, qui

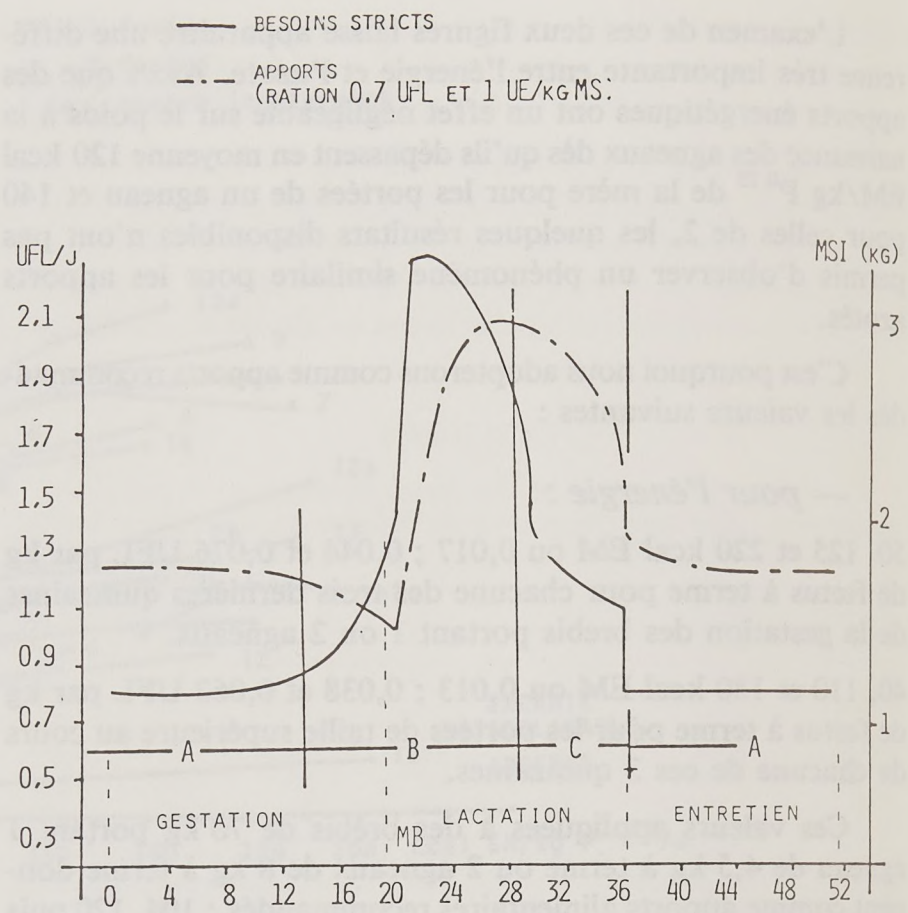


FIG. 5 : *Evolution des besoins et des apports possibles d'une ration offerte à volonté tout au long d'un cycle annuel.*
Brebis de 70 kg produisant 2 agneaux de 4 kg qui gagnent 450 g/j entre la naissance et 30 j.
Ration mixte, apport 0,7 UFL/kg MS et ayant une VEF = 1 UE/kg MS.

doivent reconstituer les réserves corporelles utilisées au cours de la lactation (note d'état corporel : 1,5 à 2 en fin de lactation), ont une capacité d'ingestion supérieure d'environ 30 p. 100 à celle des animaux en bon état.

D'autre part, la capacité d'ingestion des brebis diminue avec l'âge. Les expérimentations permettant de préciser l'effet de l'âge sont rares et ont toutes été réalisées au pâturage (HAFEZ *et al.*, 1969 ; LANGLAND, 1968 ; BECHET, résultats non publiés). A même poids vif, on retiendra une différence de + 33 p. 100 de la CI entre les agnelles de un an environ et des adultes et de + 15 p. 100 pour des animaux de 2 ans (Tableau 7).

La capacité d'ingestion des brebis taries est élevée par rapport à leurs besoins. Elles sont le plus souvent capables d'ingérer suffisamment de fourrage pour couvrir leurs besoins même en période de reconstitution des réserves. Dans le cas où il serait nécessaire d'utiliser de l'aliment concentré, le taux de substitution (S) à adopter est celui qui a été proposé pour les béliers castrés (INRA, 1978) que l'on peut simplifier si le taux de concentré reste inférieur à 10 p. 100 et la digestibilité de la matière organique proche de 60 p. 100.

$$S = 1{,}43 - 0{,}655\ UEM$$

2. La fin de la gestation

Les résultats des mesures de consommation de foin par des brebis en fin de gestation (ORR et TREACHER, 1984) montrent que le système des Unités d'Encombrement ne peut s'appliquer à la brebis au cours des cinq semaines qui précèdent la mise-bas. En effet ce système suppose qu'un animal d'un poids et à un stade physiologique donnés, a une capacité d'ingestion unique, indépendante de la valeur d'encombrement des fourrages distribués. Or, en gestation, la valeur d'encombrement de la ration modifie non seulement la quantité de matière sèche ingé-

TABLEAU 7

Besoins alimentaires et capacité d'ingestion de la brebis tarie ou en début de gestation

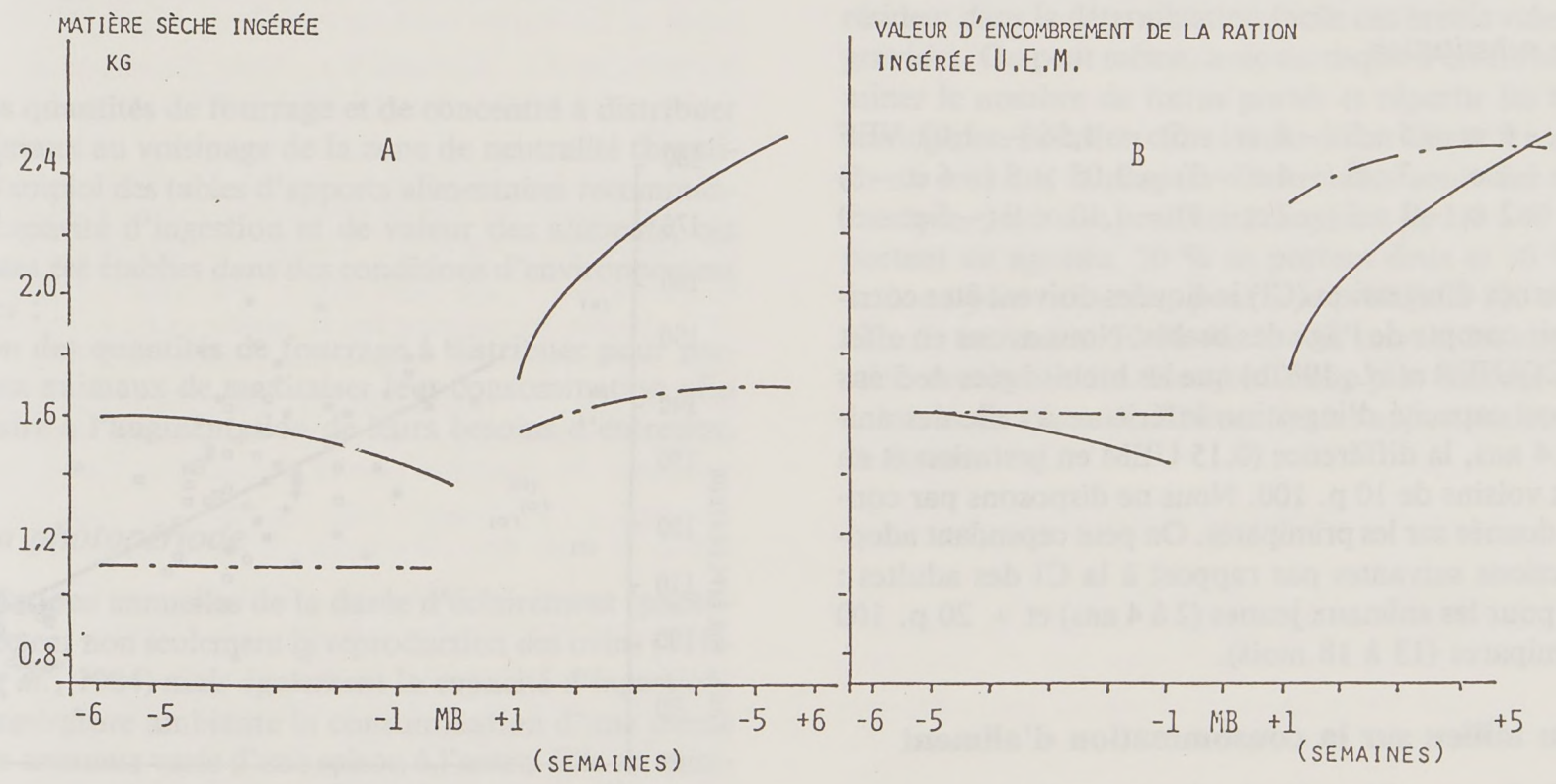
BESOINS D'ENTRETIEN								
Age	Poids vif (kg)	Besoins quotidiens				Capacité d'ingestion (UEM)		
		UFL (/j)	PDI (g/j)	Ca (g/j)	P (g/j)	Note d'état des brebis 2 à 2,5	3 à 3,5	3,5 à 4,5
Adultes	40	0,52	42	3,0	2,0	1,4	1,3	1,2
	50	0,62	50	3,5	2,5	1,7	1,5	1,4
	60	0,71	57	4,0	3,0	1,9	1,7	1,6
	70	0,80	64	4,5	3,5	2,2	2,0	1,8
	80	0,88	71	5,0	4,0	2,4	2,2	2,0
Agnelles (1)	30	0,44	34	2,5	2,0	-		1,2
	40	0,54	42	3,0	2,5	-		1,4

BESOINS POUR LA RECONSTITUTION DES RESERVES (ADULTE) OU LA CROISSANCE (AGNELLE)								
Variation de poids (2) (g/j)	Brebis adultes				Agnelles			
	UFL (/j)	PDI (g/j)	Ca (g/j)	P (g/j)	UFL (/j)	PDI (g/j)	Ca (g/j)	P (g/j)
+ 50	0,28	11	-	-	0,13	11	0,7	0,2
+ 100	0,56	22	-	-	0,26	22	1,4	0,4
+ 150	0,84	33	-	-	0,39	33	2,1	0,6

(1) Avant 30 kg de poids les agnelles sont nourries comme des agneaux de boucherie.
(2) Une augmentation de 1 point de la note d'état corporel correspond à environ 13 % d'accroissement du poids vif des brebis.

rée en semaine – 5 mais également l'évolution ultérieure de la consommation (Figure 6A). Si l'on observe bien une valeur commune aux différents produits (matière sèche ingérée × valeur d'encombrement de la ration) en semaine – 5 (Figure 6B), les courbes divergent au delà ; car il y a alors interaction entre la valeur UEM de la ration et la «capacité d'ingestion». On ne peut donc pas appliquer le système des UE au cours des derniers mois.

La démarche proposée dans une précédente publication (BOCQUIER *et al.*, 1987b) pour les 4 semaines, consistait à suivre le bilan énergétique de brebis qui recevaient, de la semaine – 5 à l'agnelage, la quantité d'aliment concentré déterminée par le calcul et le fourrage à volonté. Lorsque les apports énergétiques devenaient insuffisants le calcul était repris avec comme apports recommandés ceux de la semaine considérée, comme



(*) —— : 1 UEM PAR KG DE MATIÈRE SÈCHE OU —·—: 1,5 UEM PAR KG DE MATIÈRE SÈCHE

FIG. 6 : *Evolution de la consommation de matière sèche (A) et de la valeur d'encombrement (B) d'une ration de composition constante * offerte à volonté à des brebis portant puis allaitant 2 agneaux.*

capacité d'ingestion celle de la semaine − 5. On en déduisait un nouvel apport d'aliment concentré et une quantité de fourrage ingérée en semaine − 5. Cette dernière devait être corrigée pour tenir compte de l'évolution de la capacité d'ingestion avec le stade physiologique.

Cette démarche était longue, difficile à présenter et à mettre en œuvre. Nous proposons une autre méthode de calcul basée sur les observations suivantes :

— Des brebis recevant une ration composée exclusivement de fourrage ont un niveau de consommation stable jusqu'à l'agnelage. La diminution est nulle pour les fourrages encombrants (ORR et TREACHER, 1984), elle est faible pour les fourrages très ingestibles.
— Lorsque la ration est composée de fourrage et d'une quantité fixe d'aliment concentré, la consommation diminue quand les brebis approchent du terme et cette chute est d'autant plus importante que le fourrage est plus ingestible et que la quantité d'aliment concentré est élevée.

Il est donc possible de décrire ces phénomènes en retenant les deux hypothèses suivantes :

— La capacité d'ingestion des brebis reste constante au cours des 6 dernières semaines de gestation.
— Le taux de substitution augmente avec le stade de gestation.

Ces deux hypothèses sont en accord avec les observations, leur application aboutit à des résultats très proches de ceux obtenus par la méthode précédente. La ration à distribuer à des brebis en fin de gestation sera donc calculée pour chacune des trois quinzaines qui précèdent l'agnelage à partir des éléments suivants :

Capacité d'ingestion : $CI = 172 - 190/N + 19{,}1\ PB + 64{,}6\ PPN$

où CI est exprimée en millièmes d'UEM, N est le nombre de fœtus ; PB le poids de la mère après mise bas (en kg) et PPN le poids de la portée à la naissance (en kg).

Taux de substitution

En semaines − 6 et − 5 : $S(-6 \text{ et } -5) = 1{,}56 - 1{,}02\ VEF$
En semaines − 4 et − 3 : $S(-4 \text{ et } -3) = 1{,}05 \times S(-6 \text{ et } -5)$
En semaines − 2 et − 1 : $S(-2 \text{ et } -1) = 1{,}10 \times S(-6 \text{ et } -5)$

Les capacités d'ingestion (CI) indiquées doivent être corrigées pour tenir compte de l'âge des brebis. Nous avons en effet montré (BOCQUIER *et al.*, 1987b) que les brebis âgées de 5 ans et plus ont une capacité d'ingestion inférieure à celle des animaux de 2 à 4 ans, la différence (0,15 UEM en gestation et en lactation) est voisine de 10 p. 100. Nous ne disposons par contre d'aucune donnée sur les primipares. On peut cependant adopter les corrections suivantes par rapport à la CI des adultes : + 10 p. 100 pour les animaux jeunes (2 à 4 ans) et + 20 p. 100 pour les primipares (13 à 18 mois).

3. Effets du milieu sur la consommation d'aliment

Les seuls facteurs liés à l'animal et aux aliments ne sont pas suffisants pour décrire toutes les variations observées dans la pratique car le comportement alimentaire de l'animal est également affecté par son milieu d'élevage. La température ambiante, la photopériode et les relations sociales dans le troupeau sont les trois éléments les plus importants de l'environnement qui agissent sur la consommation de la brebis.

3.1. La température ambiante

Son effet sur la consommation d'aliment est un phénomène continu depuis les températures élevées jusqu'aux températures basses.

Lorsque la température s'élève au-dessus de la zone de neutralité thermique, la brebis diminue sa consommation d'aliments. En effet, la production de chaleur associée à la consommation d'aliment, à la digestion, à l'absorption et au métabolisme, provoque un accroissement de la température centrale. C'est pour lutter contre cette hyperthermie que l'animal réduit sa consommation d'aliments. La situation s'inverse lorsque la température ambiante diminue, l'animal accroît alors sa consommation d'aliments.

Ces variations d'ingestion sont illustrées par les résultats de BRINK (1975) qui a exposé des agneaux tondus (dont la température critique inférieure était de 13° C) à des températures comprises entre − 5 et + 35° C. Il a observé une diminution linéaire de la consommation (MSI en g/kg $PV^{0,75}$) avec la température ambiante (T en degrés Celsius).

$$MSI = 111{,}3 - 0{,}52\ T$$

Ces agneaux consomment donc 10 p. 100 de matière sèche en plus lorsque la température diminue de 19 à 0° C et 6 p. 100 en moins lorsqu'elle passe de 19 à 30° C.

Le rationnement des brebis s'effectue souvent pendant l'hiver. A cette période, suivant les bâtiments d'élevage ou la situation géographique, la température peut baisser au voisinage de 0° C alors que les capacités d'ingestion ont été mesurées à 15-18° C. Il importe donc de tenir compte de ce facteur pour corriger les consommations d'aliments. Pour cela nous avons placé des béliers Ile de France en laine (6,4 ± 1,9 cm d'épaisseur) alternativement en bergerie conditionnée (15 à 18° C) et en bergerie ouverte en hiver (− 15 à + 5° C).

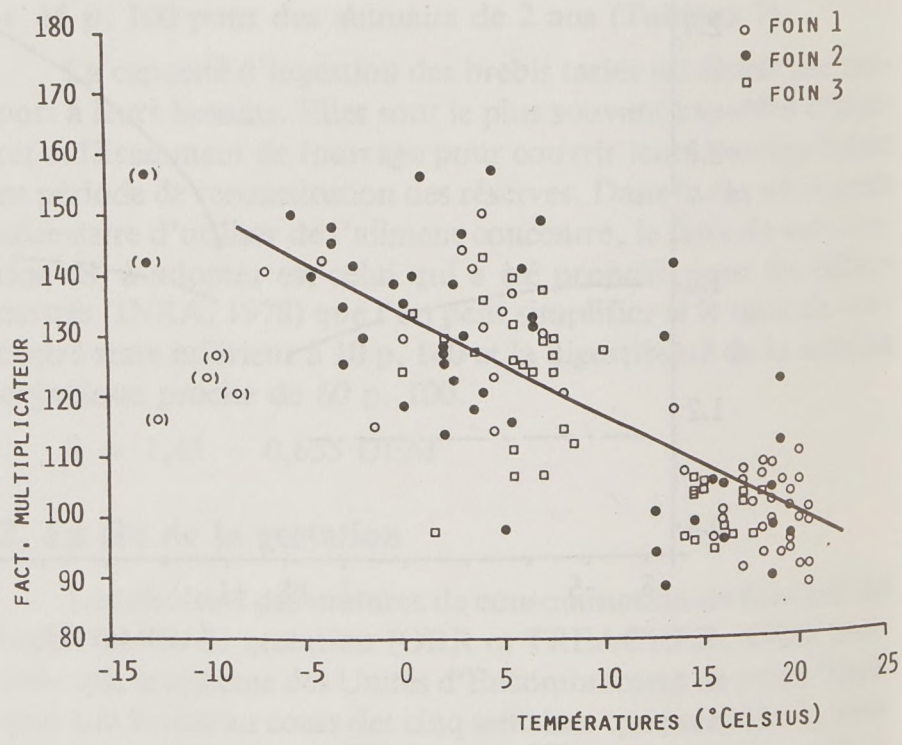


FIG. 7 : *Influence de la température moyenne de la bergerie sur la consommation de foin par les béliers.*

Les béliers ont reçu successivement comme seul aliment : trois foins dont les valeurs d'encombrement s'élevaient à 0,95 ; 1,49 et 1,73 UEM/kg MS. La consommation de chacun (Figure 7) augmente lorsque diminue la température. Si on rapporte les consommations à celles mesurées en bergerie il n'y a pas de différences suivant la valeur UEM des foins. On peut appeler ce rapport le facteur multiplicateur (F) :

$$F = \frac{134{,}5 - 1{,}83\,T}{100} \pm 0{,}1 \text{ (T en ° C)} \qquad n = 132,\ R = -0{,}79$$

D'après cette équation la consommation des béliers augmente de 34 % (F = 1,34) lorsque la température diminue de 19 à 0° C. Cette valeur est sensiblement supérieure à celle obtenue à partir des résultats de BRINK (1975) : 10 p. 100 seulement d'écart mais ceci est dû en partie au fait que ce dernier a travaillé surtout aux températures élevées et que ces effets sont moins marqués avec des régimes riches en concentré qu'avec les fourrages.

WINFIELD *et al.* (1968), ont également observé une influence de l'environnement sur la consommation des brebis gestantes : + 18 p. 100 pour des animaux en plein air par rapport à des animaux analogues en bergerie. Dans ce cas ce sont la vitesse du vent et la pluie qui ont entraîné l'accroissement de consommation puisque l'écart de température entre les deux milieux était de l'ordre de 2° C seulement.

Enfin les mesures de consommation par les brebis en laine ou tondues réalisées par WODZIKA (1963) confirment l'importance des variations de consommation des brebis selon, non pas la température, mais le degré d'isolation de leur toison puisque cet auteur observe des différences de 30 à 40 p. 100 d'ingestion entre lots témoins ou tondus.

Dans la pratique du rationnement il sera donc nécessaire de tenir compte de la température moyenne de la bergerie pour déterminer les apports à réaliser, la démarche retenue étant la suivante :

- calcul des quantités de fourrage et de concentré à distribuer à des animaux au voisinage de la zone de neutralité thermique par l'emploi des tables d'apports alimentaires recommandés, de capacité d'ingestion et de valeur des aliments, ces tables ayant été établies dans des conditions d'environnement analogues ;
- correction des quantités de fourrage à distribuer pour permettre aux animaux de maximiser leur consommation afin de satisfaire à l'augmentation de leurs besoins d'entretien.

3.2. La photopériode

Les variations annuelles de la durée d'éclairement (photopériode) affectent non seulement la reproduction des ovins (THIMONIER *et al.*, 1984) mais également la capacité d'ingestion. A même température ambiante la consommation d'une même ration par les animaux varie d'une saison à l'autre. Elle est minimale en automne et en hiver et maximale au printemps et en été. Ces variations peuvent être très importantes puisqu'elles dépassent 40 p. 100 pour des béliers castrés (+ 45 p. 100 ; GORDON (1964), + 41 p. 100 : MICHALET-DOREAU et GATEL (1983) et 50 p. 100 pour des béliers entiers (+ 52 p. 100 pour des Suffolk et 72 p. 100 pour des Soay (KAY, 1979)). Ce dernier exemple montre également que l'effet de la photopériode sur la consommation varie selon les races. D'une manière générale les races originaires des régions de latitude élevée sont plus sensibles à l'effet de la photopériode que celles des régions méridionales que ce soit pour la durée de la saison d'activité sexuelle ou pour la variation de consommation d'aliments.

En fait, dans la pratique, ces effets de la photopériode ne nécessitent pas de correction propre car les mesures de capacité d'ingestion des moutons castrés utilisés pour estimer la valeur d'encombrement des rations ou celle des brebis ont été réalisées aux époques correspondantes à leur utilisation normale : fourrages verts en jours longs, fourrages conservés en jours courts. Les valeurs indiquées dans les tables intègrent donc cet effet de la photopériode.

3.3. L'environnement social

Les ovins en troupe s'alimentent en même temps, surtout si l'alimentation est fractionnée dans la journée. Les quantités ingérées en lot sont en moyenne identiques à celles mesurées en case individuelle (THERIEZ et MOLENAT, 1969). Pour limiter la concurrence les brebis doivent disposer d'un accès suffisant à l'auge variant suivant le format (environ 0,30 m/brebis). Nous avons vu que pour les fourrages grossiers, il se produit un ajustement entre les besoins et les quantités ingérées. Par contre, pour les concentrés distribués en quantité limitée, la consommation dépend plus de la position hiérarchique des brebis dans le lot que de leurs besoins (FOOT *et al.*, 1973). C'est pourquoi il est recommandé de constituer des lots homogènes d'animaux pour éviter une trop forte disparité dans les consommations.

Conclusion

Les innovations techniques les plus marquantes depuis 1978 résident dans la détermination facile des brebis vides et des brebis gravides. On peut même, avec un risque d'erreur minime, déterminer le nombre de fœtus portés et répartir les brebis en lots homogènes. En effet, dans les cas où on alimente toutes les brebis en un seul lot, la plupart d'entre elles sont mal nourries. Par exemple, pour une prolificité moyenne de 1,8 ; 40 % des brebis portent un agneau, 50 % en portent deux et 10 % en portent trois ou plus : nourries pour une prolificité 2,0 cela conduit à nourrir seulement 50 % des brebis suivant les apports alimentaires recommandés. Il est beaucoup plus efficace de séparer les animaux en lots et de différencier les apports selon leur nombre de fœtus.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Mesdames Michèle de Martrin, Béatrice Dordonnat pour la dactylographie et Lucienne Souchet pour les références bibliographiques ; et P. Lebecque pour les illustrations.

Références bibliographiques

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Slough, Commonwealth Agricultural Bureaux.

BOCQUIER F., THERIEZ M., 1984. Prediction of ewe body composition at different physiological states. In «In vivo measurement of body composition in meat animals. Proc. E.E.C. Bristol 1983, Eds LISTER, ELSEVIER, 152-157.

BOCQUIER F., THERIEZ M., BRELURUT A., 1987a. The voluntary hay intake of ewes during the first weeks of lactation. Anim. Prod., **44**, 387-394.

BOCQUIER F., THERIEZ M., BRELURUT A., 1987b. Utilisation du foin par la brebis. In C. DEMARQUILLY Ed., les Fourrages secs, récolte, traitement, utilisation. INRA, Paris.

BOCQUIER F., THERIEZ M., BRELURUT A., 1987c. Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation. Bull. Techn. CRZV-Theix, INRA, **70**.

BOCQUIER F., BRELURUT A., THERIEZ M., 1988. Influence de deux environnements climatiques contrastés sur le besoin énergétique d'entretien de la brebis tarie. Reprod. Nutr. Dévelop. (accepté pour publication).

BRINK D.R., 1975. Effect of ambient temperature on lamb performance. MS thésis, Kansas State University Manhattan. In «The voluntary intake of farm animals», J.M. FORBES 1986 Butterworth.

ELLIOT R.C., TOPPS J.H., 1964. Studies of protein requirements of ruminants. Brit. J. Nutr., **18**, 245-252.

FELL B.F., CAMPBELL R.M., MACKIE W.S., WEEKES T.E.C., 1972. Changes associated with pregnancy and lactation in some extra-reproductives organes of the ewe. J. Agric. Sci. Camb., **79**, 397-407.

FOOT J.Z., RUSSEL A.J.F., MAXWELL T.J., MORRIS P., 1983. Variations in intake among group-fed pregnant Scottish Blackface ewes given restricted amount of food. Anim. Prod., **17**, 169-177.

FORBES J.M., 1970. Voluntary food intake of pregnant and lactating ruminant : a review. Br. Vet. J., 126, 1-11.

FORBES T.J., ROBINSON J.J., 1967. The effect of source and level of dietary protein on the performance of in lamb ewes. Anim. Prod., **9**, 521-530.

GORDON J.G., 1964. Effect of time of year on the roughage intake of housed sheep. Nature, London, **20**, 798-799.

HAFEZ E.S.E., CAIRNS R.B., HULET C.V., SCOTT J.P., 1969. The behaviour of sheep and goats in : the behaviour of domestic animal. E.S.E. HAFEZ, Editor, 296-348.

INRA., 1978. Alimentation des ruminants. INRA Publ., Route de St-Cyr, 78000 Versailles, 597 p.

KAY R.N.B., 1979. Seasonal changes of appetite in deer and sheep. A.R.C., Res. Rev., **5**, 13-15.

KENNEDY P.M., YOUNG B.A., CHRISTOPHERSON R.T., 1977. Studies on the relationship between thyroïd function, cold acclimatation and retention time of digesta in sheep. J. Anim. Sci., 45, 1084-1090.

LANGLAND J.P., 1968. The feed intake of grazing sheeps differing in age breed previous nutrition and live-weight. J. Agric. Sci. Camb., 71, 167-172.

LODGE G.A., HEANEY D., 1973. Energy cost of pregnancy in single and twin-bearing ewes. Can J. Anim. Sci., 53, 479-489.

LOUCA A., MAVROGENIS A., LAWLOR M.J., 1974. Effects of plane of nutrition in late pregnancy on lamb birth weight and milk yield in early lactation of Chios and Awassi Sheep. Anim. Prod., 19, 341-349.

MEAT LIVESTOCK COMMISSION., 1983. Feeding the ewe. UK. MLC. SF. Milton Keynes, 78 pp.

MICHALET-DOREAU Brigitte, GATEL F., 1983. Evolution au cours d'une année des quantités de foin ingérées par des béliers castrés. Ann. Zootech., 32 (4), 459-464.

Mac CLELLAND T.H., FORBES T.J. 1970. Nitrogen utilisation in Scottish Blackface ewes during late pregnancy. Rec. Agric. Res. Minist. Agric. Nth. Ir., 18, 1-7.

Mac CLELLAND T.H., FORBES T.J., 1971. A study of protein requirements of housed Scottish Blackface ewes during late pregnancy. Anim. Prod., 13, 643-651.

Mac CLELLAND T.H., FORBES T.J., 1973. The effect of level and pattern of energy intake during late pregnancy on the performance of housed scottish Blackface ewes. Anim. Prod., 16, 165-171.

Mac DONALD I., ROBINSON J.J., FRASER C., SMART R.I., 1979. Studies on reproduction in prolific ewes. 5. The accretion of nutrients in the foetuses and adnexa. J. Agric., Sci. Camb., 92, 591-603.

ORR R.J., TREACHER T.T., 1984. The effect of concentrate level on the intake of hays by ewes in late pregnancy. Anim. Prod., 39, 89-98.

PAPAS A., 1977. Protein requirements of chios sheep during maintenance. J. Agric. Sci. Camb., 44, 665-671.

PARKINS J.J., FRASER J., RITCHIES N.S., HEMINGWAY R.G., 1974. Urea as a protein source of ewes with twin lambs in late pregnancy and early lactation. Anim. Prod., 19, 321-329.

PRIOR R.L., CHRISTENSEN R.K., 1976. Influence of dietary energy during gestation on lambing performance, and glucose metabolism in Finn-Cross ewes. J. Anim. Sci., 43, 1114-1124.

RATTRAY P.V., GARRETT W.N., EAST N.E., HINMAN N., 1974. Efficiency utilisation of metabolizable energy during pregnancy and the energy requirements for pregnancy in sheep. J. Anim. Sci., 38, 383-393.

RATTRAY P.V., TRIGG T.E., 1981. Minimal feeding of pregnant ewes. Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod., 39, 242.

ROBINSON J.J., 1973. Some aspects of ewe nutrition. Vet. Res., 92, 602-606.

ROBINSON J.J., BROWN W., LUCAS JAM., 1973. Effects of shelter, exposure and level of feeding over winter on the productivity of welsh Mountain ewes and lambs. Anim. Prod., 17, 21-32.

ROBINSON J.J., FORBES T.J., 1966. A study of the protein requirements of the mature breeding ewe. I — Maintenance requirement of the non pregnant ewe. Br. J. Nutr., 20, 263-272.

ROBINSON J.J., FORBES T.J., 1967. A study of the protein requirements of the mature breeding ewe. Br. J. Nutr., 21, 879-891.

ROBINSON J.J., FORBES T.J., 1968. The effects of protein intake during gestation on ewe and lamb performance. Anim. Prod., 10, 297-309.

ROBINSON J.J., FORBES T.J., 1970. The effects of roughage to concentrate ratio in the diet on protein and energy utilization by the non pregnant ewe. J. Agric. Sci. Camb., 74, 415-421.

ROBINSON J.J., Mc DONALD I., FRASER C., CROFTS R.M.J., 1977. Studies on reproduction in prolific ewes. I. Growth of the products of conception. J. Agric. Sci. Camb., 88, 538-552.

ROBINSON J.J., McDONALD I., FRASER C., GORDON J., 1980. Studies on reproduction in prolific ewes. 6- The efficiency of energy utilisation for conceptus growth. J. Agr. Sci. Camb., 94, 331-338.

RUSSEL A.J.F., DONEY J.M., GUNN R.G., 1969. Subjective assesement of body fat in live sheep. J. Agric. Sci. Camb., 72, 451-454.

RUSSEL A.J.F., DONEY J.M., REID R.L., 1967. Energy requirement of the pregnant ewe. J. Agric. Sci., 68, 359-363.

RUSSEL A.J.F., MAXWELL T.J., SIBBALD A.R., DONALD D.M., 1977. Relationships between energy intake nutritional state and lamb birth weight in Grewface ewes. J. Agric. Sci. Camb., 89, 667-673.

SHEEHAN W., LAWLOR M.J., 1972. Energy supplementation of silage for ewes in late pregnancy. Anim. Prod., 15, 29-37.

SHEVAH Y., BLACK W.J.M., LAND R.B., 1975. Difference in feed intake and the performance of FinnxDorset ewes during lats pregnancy. Anim. Prod., 20, 391-400.

SYKES A.R., FIELD A.C., 1972. Effects of dietary deficiency of energy, protein and calcium on the pregnant ewe. II. Body composition and mineral content of the lamb. J. Agric. Sci., 78, 109-117.

THERIEZ M., MOLENAT G., 1969. Influence de la taille du lot sur la quantité d'aliment ingéré par la brebis en bergerie. Ann. Zootech., 19, 455-459.

THIMONIER J., PELLETIER J., ORTAVANT R., 1984. Photoperiodisme et reproduction : bases physiologiques. Journées. Rech. Ovine et Caprine, 9, 62-78.

THOMSON A.M., THOMSON W., 1949. Lambing in relation to the diet of pregnant ewes. Brit. J. Nutr., 2, 290-305.

TISSIER M., THERIEZ M., PURROY A., BOCQUIER F., 1983. Estimation in vivo de la composition corporelle de la brebis par la mesure de l'espace de diffusion de l'eau lourde. Reprod. Nutr. Develop., 23 (4), 693-707.

TREACHER T.T., 1971. Effects of nutrition in pregnancy and in lactation on milk yield in ewes. Anim. Prod., 13, 493-501.

TREACHER T.T., 1980. Effects of nutrition in late pregnancy on subsequent milk production in ewes. Anim. Prod., 12, 23-36.

VERMOREL M., COULON J.B., JOURNET M., 1987. Révision du système des unités fourragères. Bull. Tech., CRZV-Theix, INRA, **70**.

VILLETTE Yseult, AUROUSSEAU B., 1981. Influence du poids à la naissance et du génotype sur la composition chimique de l'agneau nouveau-né. Ann. Zootech., 30 (4), 285-298.

VILLETTE Yseult, THERIEZ M., 1984. Note sur l'évolution de la composition chimique du fœtus et du nouveau-né ovin de race Ile de France. Ann. Zootech., 33 (1), 123-130.

WALLACE L.R., 1948. Growth of lambs before and after birth in relation to the level of nutrition. J. Agric. Sci. Camb., 38, 93-153.

WINFIELD C.G., BROWN W., LUCAS I.A.M., 1968. Some effects of compulsory exposure over winter on in-lamb Welsh-Mountain ewes. Anim. Prod., 10, 451-463.

WODZICKA M., 1963. The effect of shearing on the appetite of sheep. N.Z. J. of Agric. Res., 6, 440-447.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 199-211

Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation

F. BOCQUIER, M. THERIEZ et A. BRELURUT

INRA-CRZV Theix, Laboratoire de la Production Ovine, 63122 Ceyrat.

Lors de la rédaction des premières tables de l'alimentation des ovins (INRA, 1978) un certain nombre de valeurs nécessaires au calcul des besoins avaient été fixées d'après les résultats obtenus sur bovins. Dans d'autres cas il avait été nécessaire de faire des choix et retenir une valeur moyenne dans la gamme des résultats disponibles ou proposer des valeurs de capacité d'ingestion pour le calcul des rations dans un système très récemment mis en place.

Depuis 10 ans, les réserves corporelles ont fait l'objet de nombreuses mesures qui permettent de proposer aujourd'hui de nouvelles valeurs du contenu énergétique des variations de poids. Ces expériences ont également montré que la brebis en lactation peut mobiliser beaucoup de lipides corporels (6 à 7 kg en six semaines) et que la perte de poids n'est pas une bonne mesure de la mobilisation des réserves. Ainsi, nous avons préféré utiliser la méthode de notation de l'état corporel pour calculer les rations. Bien que moins précise, cette méthode est facile à mettre en œuvre et est déjà utilisée par les éleveurs.

L'accent a également été mis sur la prévision des quantités de fourrages ingérées, ce qui nous a permis de vérifier que le système des Unités d'Encombrement ne peut s'appliquer tel quel au début de la lactation (premier mois) mais qu'il doit être adapté à cette phase très importante du cycle de production.

Enfin, nous nous sommes efforcés d'être moins «dirigistes» qu'en 1978. Il n'existe donc pas de tables d'apports recommandés en énergie pour la brebis en lactation. Nous proposons des tables de besoins alimentaires et une aide pour la détermination des apports retenus selon l'état corporel des brebis, leur âge et la durée de leur lactation. Des niveaux de mobilisation supérieurs à ceux retenus en 1978 sont possibles, l'expérience nous ayant montré que la brebis peut puiser sur ses réserves une quantité d'énergie équivalente à celle de 0,8-0,9 litre de lait. De telles mobilisations supposent la couverture des besoins azotés des animaux : les apports recommandés en PDI sont égaux aux besoins.

I. Utilisation de l'énergie par la brebis en lactation

1. Rendement d'utilisation de l'énergie

On considère classiquement que pendant la lactation, lorsque la brebis mobilise ses réserves, les flux d'énergie se répartissent de la manière suivante :

$$E\ lait = kl \times (EMI - BE) + krl \times EMob$$

où kl est le rendement de l'énergie métabolisable ingérée (EMI) disponible au-dessus de l'énergie utilisée pour l'entretien (BE) et krl est le rendement d'utilisation de l'énergie des réserves corporelles (EMob).

Depuis 1978, TISSIER *et al.* (1979) et VERMOREL *et al.* (1985) ont confirmé que les rendements kl et krl chez la brebis sont voisins de ceux des vaches laitières kl # 0,6 et krl = 0,8. Cependant, des travaux récents aboutissent à des conclusions différentes. Les auteurs expriment leurs résultats sous forme d'un rendement global s'appliquant à la somme de l'énergie métabolisable ingérée et de l'énergie corporelle. Ce rendement varie avec :

— la concentration énergétique de la ration (q = EM/EB) comme le kl,
— la quantité de protéines alimentaires disponibles au-dessus des quantités nécessaires à l'entretien (COWAN *et al.*, 1981),
— la teneur en protéines des variations de masse corporelle (GEENTY et SYKES, 1986).

Un tel système d'expression évite d'obtenir des bilans énergétiques manifestement biaisés (krl supérieur à 1) mais il conduit à des résultats incompatibles avec ceux de TISSIER *et al.* (1979) et de VERMOREL *et al.* (1985). Selon GEENTY et

SYKES (1986), en particulier, le rendement global de l'énergie varierait de 0,60 (forte sous-alimentation énergétique entraînant la mobilisation de l'équivalent de 300 g/j de lipides) à 0,75 (mobilisation nulle). L'application des valeurs de TISSIER *et al.* (1979) et VERMOREL *et al.* (1985), (kl = 0,6 et krl = 0,8) aboutit à un klrl qui, dans les mêmes conditions, tendrait vers 0,8 en cas de forte mobilisation et serait voisin de 0,6 lorsque tous les besoins de la brebis sont couverts. Cette divergence peut provenir en partie de mesures erronées de la production laitière des brebis allaitantes (problème rencontré dans tous les travaux sur cet animal) et parfois de l'estimation des consommations d'herbe (GEENTY et SYKES, 1986).

Cependant nos propres résultats (BOCQUIER *et al.*, non publié) nous permettent de confirmer l'effet de la nature des protéines alimentaires ou d'un apport d'acides aminés protégés sur le rendement d'utilisation des réserves corporelles (krl) donc sur le rendement global ; faute de pouvoir proposer des valeurs précises pour ces deux rendements et dans l'attente de données supplémentaires, nous avons retenu pour le calcul des besoins et apports recommandés pour les brebis en lactation les valeurs antérieures et en particulier un rendement de 0,8 pour l'utilisation des réserves corporelles.

2. Valeur énergétique des variations de poids vif

Au début de la lactation les pertes de poids vif peuvent être très importantes, jusqu'à 480 g/j (COWAN *et al.*, 1980). Il importe donc de préciser leur contribution au bilan énergétique. Les données de la bibliographie (Tableau 1) ne permettent pas de retenir une valeur énergétique de la perte de poids puisque, selon les auteurs, selon l'intervalle au cours duquel l'estimation a été faite (début ou fin de lactation) mais également selon l'état initial des réserves corporelles, elles varient de 3,4 à 21,5 Mcal/kg avec une valeur moyenne de 10,8 ± 6,0 Mcal par kg de perte de poids vif en début de lactation.

La plus forte valeur (21,5 Mcal/kg) traduit en fait deux phénomènes concomitants, d'une part une mobilisation des réserves lipidiques avec remplacement plus ou moins important des lipides par de l'eau et d'autre part une augmentation du poids du contenu digestif par suite de l'accroissement des quantités ingérées au cours des 5 à 7 premières semaines de la lactation ; ces deux phénomènes conduisant dans la plupart des cas à une sous-estimation de la perte de poids.

TABLEAU 1

Valeur énergétique des pertes de poids vif en début de lactation

Auteurs	Valeur énergétique des variations de poids vif (Mcal/kg)
FARRELL et al (1972)	6,450
COWAN et al (1979)	16,252
TISSIER et al (1979)	4,644
GIBB et TREACHER (1978)	15,535
COWAN et al (1980)	11,950
COWAN et al (1980)	5,736
COWAN et al (1980)	21,511
COWAN et al (1980)	14,340
COWAN et al (1981)	8,413
BOCQUIER et al (1985)	3,394

Les résultats publiés dans la littérature étant insuffisamment fiables car obtenus par abattage d'un nombre restreint de brebis en début puis à différents stades de la lactation, nous avons rassemblé l'ensemble des mesures de composition corporelle réalisées au Laboratoire de la Production Ovine depuis près de 10 ans par la méthode de l'espace de diffusion de l'eau lourde (TISSIER *et al.*, 1983 ; BOCQUIER et THERIEZ, 1984). Les 319 données disponibles ont été regroupées en 4 classes selon le sens de la variation de poids (gain ou perte) et selon le type de rationnement retenu (régime constant ou variable), la variation de la quantité de matière sèche ingérée étant alors utilisée comme variable associée dans l'équation de prédiction (Tableau 2).

A régime constant, le contenu énergétique des variations de poids vif serait constitué par 40 à 50 % de lipides, que les brebis perdent ou gagnent du poids (équations 1 et 2). Le maintien d'un niveau d'ingestion constant au cours des 6 premières semaines de la lactation étant le résultat de contraintes expérimentales, donc non représentatif des phénomènes physiologiques, nous n'avons pas regroupé l'ensemble des données de ce groupe pour en tirer une seule équation.

TABLEAU 2

Valeur énergétique (DEC) des variations de poids vif (DPV,kg) des brebis selon le stade physiologique

Etat physiologique et sens de la variation	Variation d'énergie corporelle DEC en Mcal			Equation n°
BREBIS A REGIME CONSTANT				
Allaitantes perdant du poids	DEC= 4,78 DPV	n= 83	r =0,69	(1)
Allaitantes gagnant du poids	DEC= 5,07 DPV	n= 65	r =0,54	(2)
BREBIS EN REGIME A VOLONTE				
Allaitantes perdant du poids	DEC= -9,70 +4,96 DPV -0,02 DMSI	n=107	r2=0,27	(3)
Allaitantes gagnant du poids	Relation non significative			
Allaitantes (ensemble des données)	DEC= -11,9 +4,31 DPV -0,015 DMSI	n=171	r2=0,30	(4)

Le second type de données correspond à la mesure de la composition corporelle de brebis allaitantes disposant de fourrages offerts à volonté et ayant soit perdu de 0 à 10 kg (équation 3) soit gagné jusqu'à 8 kg de poids vif. Cette dernière population n'a pas permis de déterminer de manière significative les liaisons entre les variations d'énergie corporelle, de poids vif et de matière sèche ingérée. Nous avons regroupé les 171 valeurs correspondant aux brebis ayant perdu ou gagné du poids pour calculer l'équation 4. En effet, les résultats sont reportés sur la Figure 1 pour 4 valeurs (de + 100 à + 800 gMS) de l'accroissement du niveau de matière sèche ingérée (DMSI) entre les semaines 1 et 5. Ces variations correspondent à des régimes à base de foins dont la valeur d'encombrement varierait de 1,8 UEM (+ 100 gMS) à 1,0 UEM (+ 800 gMS) et d'une quantité fixe d'aliment concentré.

Ainsi une perte de 30 Mcal d'énergie corporelle en 35 jours entraîne la perte de 3,4 kg de poids vif avec un régime à valeur d'encombrement élevé et de 1,2 kg seulement avec un régime à faible valeur d'encombrement. Les valeurs tirées de l'équation (2), à régime constant, et celles retenues antérieurement (5,5 Mcal/kg, INRA 1978) sont également reportées sur cette figure. Ce même déficit de 30 Mcal entraînerait respectivement 6,3 ou 5,5 kg de perte de poids vif. La valeur énergétique du kg de perte de poids varie dans ces conditions de 8,8 à 2,5 Mcal selon la valeur d'encombrement du régime distribué à volonté et à 4,8 Mcal seulement pour les brebis à régime constant. Ces résultats expliqueraient l'hétérogénéité des résultats bibliographiques (Tableau 1).

3. L'état corporel des brebis

Les variations de poids vif des brebis sont difficiles à mesurer et ne sont pas toujours représentatives de la mobilisation des réserves corporelles. On peut remplacer leurs mesures par la notation d'état corporel, mesure mise au point par les anglo-saxons (RUSSEL *et al.*, 1969) et couramment utilisée par les éleveurs. L'état corporel des brebis est noté de zéro (brebis très maigre) à 5 (brebis très grasse).

Les apports alimentaires sont déterminés selon l'état initial des brebis et les variations prévisibles. Selon le MLC (1983), un point d'écart de note correspond à une variation de 13 % du poids vif (à régime constant) et n'a donc pas la même valeur énergétique selon le format de la brebis : la perte d'énergie corporelle (en UFL) est près de 2 fois plus élevée pour une brebis de 80 Kg que pour un animal de 40 kg. Cette notion reste donc difficile à utiliser sous cette forme dans un rationnement puisqu'il faut ajuster les quantités d'énergie au format des animaux. On peut par contre exprimer le déficit énergétique tolérable (ou l'excès nécessaire) par rapport aux besoins d'entretien puisque ceux-ci varient également avec le poids métabolique. Compte tenu de la faible différence, en valeur absolue, du poids entre brebis de différentes races (de 50 à 80 kg pour les extrêmes), on peut en effet considérer que la pente des deux droites présentées sur la Figure 2 est identique, et donc choisir comme déficit ou excès par rapport aux besoins stricts une fraction k du besoin d'entretien de l'animal : k × (BE). Par exemple la perte d'un point de note d'état en six semaines couvre 0,85 × BE.

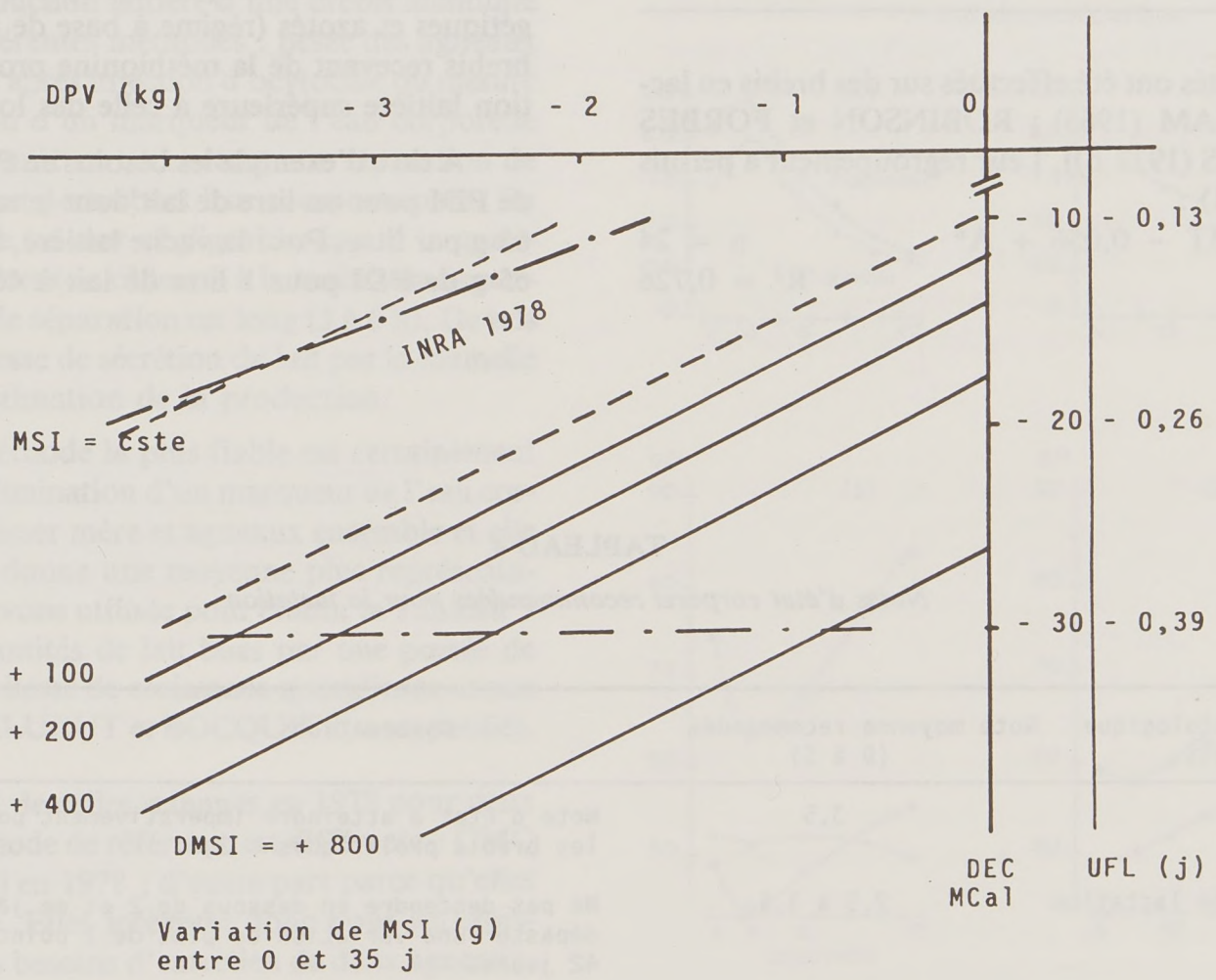


FIG. 1 : *Variation de l'énergie corporelle d'une brebis (DEC) au cours des 5 premières semaines de lactation selon la perte de poids vif (PV) observée et les variations de consommation de fourrage offert ad libitum (DMSI).*

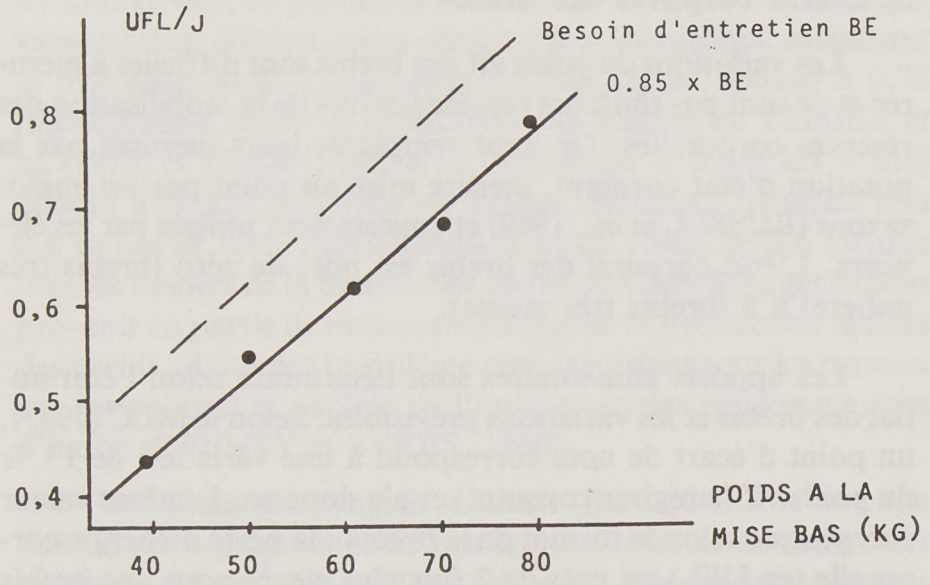


FIG. 2 : *Déficit énergétique quotidien entraînant en 6 semaines la réduction de un point de la note d'état corporel des brebis (—).*

L'équivalence entre la variation de note d'état, de poids et le déficit du bilan énergétique est présentée sur le Tableau 3 pour des animaux recevant des régimes variés.

Nous avons également reporté sur le Tableau 4 les notes d'état corporel souhaitables à différents stades de lactation, déficits et excédents possibles selon l'état des animaux, leur âge et le système de conduite auquel ils sont soumis.

II. Utilisation de l'azote par la brebis en lactation

Peu de bilans azotés ont été effectués sur des brebis en lactation (MAC GRAHAM (1963) ; ROBINSON et FORBES (1970, a et b) ; PAPAS (1977 b)). Leur regroupement a permis d'établir l'équation (1) :

(1) $PSL = 0{,}589\ PDIT - 0{,}056 + A^*$ $\quad n = 24$, $R^2 = 0{,}726$

TABLEAU 3

Equivalence entre les variations d'état corporel ou de poids en six semaines et le bilan énergétique quotidien des brebis nourries à volonté pendant l'allaitement

Poids de la brebis (kg)	variation de la note	variation du poids vif (Kg)	bilan énergétique (apports - besoins) UFL/j
		Régime (1)	
55	- 1	A : - 1,3 B : - 2,5 C : - 3,4	- 0,56
70	- 1	A : - 2,2 B : - 3,4 C : - 4,3	- 0,68

(1)

REGIME A : Fourrage très ingestible, la consommation augmente en moyenne de 800 g/b/j entre 0 et 35 j de lactation.
ex: foin de 2° coupe + concentré en quantité constante.

REGIME B : Fourrage d'ingestibilité moyenne, la consommation augmente de 400 g/b/j entre 0 et 35 j de lactation.
ex: foin de 1° coupe + concentré en quantité constante.

REGIME C : Fourrage encombrant, la consommation augmente de 100 g/b/j entre 0 et 35 j de lactation.
ex: paille + concentré en quantité constante.

où PSL est la quantité de protéines sécrétées dans le lait et PDIT l'apport total de PDI, tous deux exprimés en g/kg $P^{0,75}$/j. A* est un effet auteur (significatif à $P < 0{,}05$).

Le rendement d'utilisation des PDI pour la production laitière est ainsi de 0,59 et donc inférieur à celui retenu pour les vaches laitières (0,62). Cet écart peut provenir des besoins plus élevés des brebis en acides aminés soufrés, nécessaires à la pousse de la laine. Des résultats récents (BOCQUIER *et al.*, à paraître) confirment ce besoin spécifique puisque, à mêmes apports énergétiques et azotés (régime à base de foin, soja et céréales) des brebis recevant de la méthionine protégée ont eu une production laitière supérieure à celle des lots témoins.

A titre d'exemple les besoins en PDI s'élèvent à 76 ou 110 g de PDI pour un litre de lait dont le taux protéique est de 45 ou 65 g par litre. Pour la vache laitière, les besoins sont d'environ 65 g de PDI pour 1 litre de lait à 40 g/l de taux protéique.

TABLEAU 4

Notes d'état corporel recommandées pour la lactation

Stade physiologique de la brebis	Note moyenne recommandée (0 à 5)	Observations
Agnelage	3,5	Note d'état à atteindre impérativement pour les brebis prolifiques : 3,5.
42 jours de lactation	2,5 à 3,5	Ne pas descendre en dessous de 2 et ne jamais dépasser une variation de plus de 1 point en 42 jours.
Sevrage	2 à 2,5 (1)	Ne jamais poursuivre la sous-alimentation énergétique au delà de 8 semaines de lactation

(1) Des notes d'état plus faibles peuvent être préférées dans les systèmes disposant d'aliments bon marché pour reconstituer les réserves (herbe).

III. Les besoins et apports recommandés pendant la lactation

La détermination des besoins de la brebis en lactation nécessite de connaître la quantité de lait sécrétée et sa composition. Ces deux éléments peuvent être déterminés directement chez les animaux soumis à la traite, ils doivent être estimés pour la brebis allaitante.

On peut estimer la production laitière à partir de la croissance de la portée dans la mesure où le lait constitue le seul aliment des agneaux, c'est-à-dire au cours du premier mois. Nous avons donc retenu comme critère le gain de poids de la portée entre 10 et 30 jours d'âge. Cette croissance est bien connue des éleveurs puisque c'est un critère de sélection : «GMQ 10-30».

La démarche adoptée ensuite pour calculer les besoin alimentaires de la brebis allaitante au cours de toute sa lactation est la suivante :

— établissement de la relation entre production laitière et croissance du jeune(s) agneau(x) (GMQ 10-30) ;
— choix d'une courbe de lactation-type qui permet, une fois connu le niveau de production au cours des premières semaines, de proposer son évolution ultérieure ;
— détermination de la composition moyenne du lait selon le stade de lactation.

1. Les besoins pendant la lactation

1.1. Relation entre la production laitière et la croissance de l'agneau au cours des premières semaines

La mesure de la production laitière d'une brebis allaitante peut être réalisée par différentes méthodes : pesée des agneaux avant et après tétée, traite après injection d'ocytocine ou mesure de la vitesse d'élimination d'un marqueur de l'eau corporelle de l'agneau. Les deux premières nécessitent une séparation de la mère et de ses agneaux et perturbent leur comportement. En outre, les erreurs de pesée ne sont négligeables que si la quantité de lait bue par les jeunes (ou obtenue à la traite) est importante donc si l'intervalle de séparation est long (3 à 6 h). De tels intervalles réduisent la vitesse de sécrétion du lait par la mamelle et entraînent une sous-estimation de la production.

C'est pourquoi la méthode la plus fiable est certainement la mesure de la vitesse d'élimination d'un marqueur de l'eau corporelle. Elle permet de laisser mère et agneaux ensemble et elle dure quatre jours ce qui donne une moyenne plus représentative de la réalité. Nous l'avons utilisée pour établir le Tableau 5 où sont reportées les quantités de lait bues par une portée de 1 ou 2 agneaux, selon sa vitesse de croissance quotidienne et son poids à la naissance (BRELURUT et BOCQUIER, non publié).

Ces valeurs diffèrent de celles retenues en 1978 pour deux raisons : d'une part la période de référence est différente : GMQ 10-30 ici, GMQ de 0 à 42j en 1978 ; d'autre part parce qu'elles se rapportent à la portée. Elles intègrent donc pour les croissances les plus élevées, les besoins d'entretien de deux agneaux.

Les indices de consommation correspondants sont compris entre 0,9 et 1,1 kg de MS par kg de gain, ils sont en accord avec ceux qui ont été déterminés sur agneaux en allaitement artificiel (1,06 à 1,22 ; THERIEZ, com. pers.).

TABLEAU 5

Productions laitières des brebis au cours des trois premières semaines de la lactation en fonction de la croissance des agneaux entre 10 et 30 jours (en litre)

Poids de la portée à la naissance (kg)	4	5	6	7	8
Croissance (g/j)					
150	1,00	1,10	-	-	-
250	1,45	1,53	1,60	-	-
350	1,90	2,00	2,10	2,15	2,20
450	-	2,45	2,50	2,60	2,70
500	-	-	-	3,00	3,10

1.2. Courbes de lactation

La courbe de lactation présentée sur la Figure 3a pour les brebis allaitantes a été établie à partir des données de GIBB et TREACHER, 1978, 1980 et 1982 ; THERIEZ *et al.*, non publié ; TORRES - HERNANDEZ et HOHENBOKEN, 1980 ; COWAN *et al.*, 1980 et 1981 ; DONEY *et al.*, 1981 et 1983 ; GEENTY et SYKES, 1986b). Celles des brebis soumises à la traite (Figure 3a') proviennent du contrôle laitier en race Lacaune (BARILLET, 1985).

D'après la Figure 3a, les niveaux de production au cours des périodes s'étendant des semaines 4 à 6, 7 à 10 et 11 à 14 s'élèvent respectivement à 87, 55 et 31 % de la production laitière initiale. Nous avons utilisé ces valeurs, pour établir le Tableau 6 qui n'est valable que si la lactation des brebis n'est pas perturbée par des problèmes alimentaires ou sanitaires (mammite en particulier).

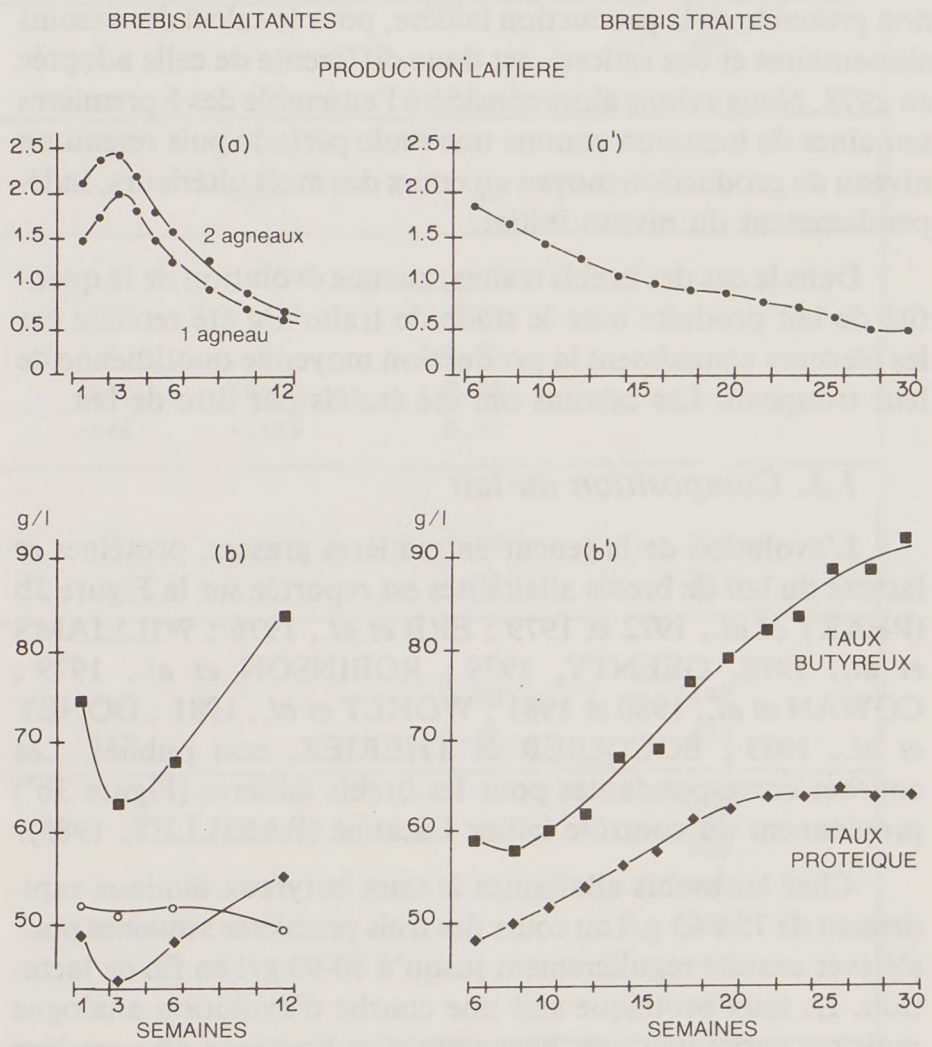


FIG. 3 : *Evolution de la production laitière chez les brebis allaitantes (a) et les brebis traites (a'), ainsi que les taux butyreux (■), protéiques (♦) et de lactose (O) chez ces deux types de brebis (b et b') - b (moyennes de la bibliographie).*

TABLEAU 6

Besoins stricts des brebis allaitantes selon le croît quotidien de la portée.
(Ces besoins s'ajoutent aux besoins d'entretien)

Gain 10 - 30 (g/j)		150	250	350	450	550
De 0 à 3 semaines						
Consommation de lait						
par la portée	(kg)	0,90	1,40	1,90	2,60	3,00
UFL	(g/j)	0,60	0,90	1,20	1,65	1,95
PDI	(g/j)	65	100	130	180	210
Calcium	(g/j)	5,4	8,4	11,4	15,6	18,0
Phosphore	(g/j)	2,3	3,5	4,8	6,5	7,5
De 4 à 6 semaines						
Consommation de lait						
par la portée	(kg)	0,75	1,15	1,60	2,25	2,60
UFL	(g/j)	0,50	0,70	1,00	1,40	1,60
PDI	(g/j)	52	80	110	155	180
Calcium	(g/j)	4,5	6,9	9,6	13,5	15,6
Phosphore	(g/j)	1,9	2,9	4,0	5,6	6,5
De 7 à 10 semaines						
Consommation de lait						
par la portée	(kg)	0,50	0,80	1,05	1,45	1,65
UFL	(g/j)	0,35	0,55	0,75	1	1,15
PDI	(g/j)	40	60	80	110	130
Calcium	(g/j)	3,0	4,8	6,3	8,7	9,9
Phosphore	(g/j)	1,3	2,0	2,6	3,6	4,1
De 11 à 14 semaines						
Consommation de lait						
par la portée	(kg)	0,30	0,40	0,60	0,80	0,90
UFL	(g/j)	0,20	0,30	0,45	0,60	0,70
PDI	(g/j)	25	35	50	65	75
Calcium	(g/j)	1,8	2,4	3,6	4,8	4,8
Phosphore	(g/j)	0,8	1,0	1,5	2,0	2,3

La démarche retenue, qui permet de mieux suivre l'évolution probable de la production laitière, pour le calcul des besoins alimentaires et des rations, est donc différente de celle adoptée en 1978. Nous avions alors considéré l'ensemble des 6 premières semaines de lactation comme une seule période puis retenu un niveau de production moyen au cours des mois ultérieurs, indépendamment du niveau initial.

Dans le cas des brebis traites, aucune évolution de la quantité de lait produite avec le stade de traite n'a été retenue car les éleveurs connaissent la production moyenne quotidienne de leur troupeau. Les besoins ont été établis par litre de lait.

1.3. Composition du lait

L'évolution de la teneur en matières grasses, protéines et lactose du lait de brebis allaitantes est reportée sur la Figure 3b (PEART *et al.*, 1972 et 1979 ; ERB *et al.*, 1976 ; WILLIAMS *et al.*, 1976, GEENTY, 1979 ; ROBINSON *et al.*, 1979 ; COWAN *et al.*, 1980 et 1981 ; WOHLT *et al.*, 1981 ; DONEY *et al.*, 1983 ; BOCQUIER et THERIEZ, non publié). Les courbes correspondantes pour les brebis laitières (Figure 3b') proviennent du contrôle laitier Lacaune (BARILLET, 1985).

Chez les brebis allaitantes le taux butyreux diminue rapidement de 75 à 63 g/l au cours des trois premières semaines pour s'élever ensuite régulièrement jusqu'à 80-90 g/l en fin de lactation. Le taux protéique suit une courbe d'évolution analogue mais ses variations sont beaucoup plus limitées : 49 g en 1ère semaine, 44 g en semaine 3 et 55-60 g en fin de lactation. La teneur en lactose est stable, elle est voisine de 50 g/l pendant les 6 premières semaines puis diminue légèrement au delà. Les valeurs retenues sont différentes de celles proposées en 1978 : teneurs en matières grasses supérieures, (l'écart est surtout important en 2e ou 3e mois de lactation) mais surtout les teneurs en protéines sont plus faibles (46 à 56 g/l contre 59 et 50 g/l respectivement au cours des 1er et 2e mois de lactation).

Chez les brebis traites l'amplitude des variations des taux butyreux et protéique est identique à celle des brebis allaitantes : leur évolution avec le stade de lactation est plus lente (Figure 3b').

Les données récentes sur la composition minérale des laits de brebis sont en accord avec les valeurs retenues en 1978.

1.4. Les besoins stricts de lactation

Les données précédentes ont été utilisées pour déterminer les besoins stricts de lactation pour les brebis allaitantes et les brebis traites pendant l'allaitement strict (Tableau 6). Pour les brebis traites les valeurs des besoins sont portées sur le tableau 7.

2. Apports alimentaires recommandés pendant la lactation

Nous avons, jusqu'à présent, appliqué la méthode factorielle pour déterminer des besoins stricts. Il est nécessaire de confronter cette démarche avec des essais d'alimentation qui permettent de définir les apports alimentaires recommandés.

2.1. Recommandations en énergie

En 1978, nous avions recommandé de ne pas faire perdre plus de 2 kg de poids vif en 1 mois au début de la lactation. En fait, les travaux publiés depuis 10 ans, montrent que les pertes

TABLEAU 7

Composition moyenne du lait des brebis Lacaune selon le stade de traite : besoins énergétiques et azotés

Stade de Traite (après sevrage)	COMPOSITION DU LAIT		BESOINS PAR LITRE DE LAIT			
	Taux Butyreux (g/l)	Taux Proteique (g/l)	UFL	PDI (g)	Ca (g)	P (g)
1er au 2ème mois	58	49	0,59	74		
	62	53	0,62	80	6,3	2,5
3ème au 4ème mois	65	55	0,64	83		
	75	60	0,72	90	6,3	2,5
5ème au 6ème mois	80	62	0,75	93		
	90	62	0,80	93	6,3	2,5

TABLEAU 8

Variation de poids vif et des réserves corporelles de la brebis au début de la lactation : amplitude et variations quotidiennes

Auteurs	Poids vif initial (kg)	Variation totale de poids vif (kg)	Variations quotidiennes poids (g/j)	lipides (g/j)	energie (kcal/j)	Production de lait (kg/j)	Croissance de la portée (g/j)
TREACHER et al	75,0	-9,1	-216			1,17	
1971	75,8	-6,3	-150			1,45	
	77,9	-3,2	-76			1,49	
ROBINSON et al	82,0		-118			2,42	260
1974	83,0		-170			2,93	300
	84,0		-265			3,10	300
COWAN et al	65,6	-6,7	-480				284
1980							
TISSIER et al							
1979	65,0				-521	2,47	
COWAN et al							
1980	68,2	-4,0	-113	-127	-1435	2,24	
	74,7	-0,6	-17	0	0	3,30	
	73,8	-5,2	-153	-336	-3444	2,47	
	80,4	-3,4	-97	-148	-1459	3,22	
GIBB et TREACHER							
1980	86,7	-15,3				2,88	328
	93,0	-18,4				2,93	377
COWAN et al							
1981	80,5		-65	-119		3,50	442
	80,5		-141	-111		3,32	420
GONZALEZ et al	67,8		-202				428
1984	67,8		-140				428
	67,8		-128				428
	67,8		-156				480
	67,8		-156				480
	67,8		-198				480
BENAZOUZ	72,3	-6,8	-73		-1279		
1985	73,2	-9,4	-117		-1414		
BOCQUIER et THERIEZ	69,1	-6,9	-163				510

TABLEAU 9

Utilisation des réserves corporelles pour les brebis en lactation : déficit énergétique toléré exprimé en fraction du besoin d'entretien (BE) (1)

Age et système d'élevage	Note d'état initiale	Variation maximale de la note d'état en 6 semaines	DEFICIT QUOTIDIEN TOLERE à différentes périodes de la lactation		
			Début 0 - 3 semaines	Fin 4 - 6 semaines	Moyenne 0 - 6 semaines
adulte, lactation courte	3,5 à 4	- 1,0	1.00 x BE	0.50 x BE	0.85 x BE
adulte, lactation courte	2,5 à 3	- 0,6	0.71 x BE	0.34 x BE	0.60 x BE
brebis âgées	3,5 à 4	- 0,6	0.71 x BE	0.34 x BE	0.60 x BE
agnelles, brebis traites	3,5 à 4	- 0,5	0.47 x BE	0.23 x BE	0.40 x BE

(1) Par exemple une brebis de 70 kg PV qui a un besoin d'entretien (BE) de 0.80 UFL pourra mobiliser en moyenne 0.85 x BE soit 0.68 UFL par jour.

de poids vif des brebis peuvent varier de 0 à 18 kg (Tableau 8), ce qui correspond à des pertes quotidiennes s'élevant jusqu'à − 480 g/j. Certains auteurs ont mesuré des pertes de 13 kg de lipides qui correspondent à plus de 300 g/jour (COWAN *et al.*, 1979). En revanche, les mesures par abattage des brebis montrent que la variation de protéines corporelles reste très faible : 20 à 25 g/j au maximum.

La mobilisation des réserves énergétiques dépend du niveau des apports alimentaires mais également du poids vif initial (pour un format donné il traduit en partie l'état d'engraissement), du niveau de production (lait ou croissance de la portée). Ces relations ont été précisées par COWAN *et al.* (1982).

Nous avons reporté sur le Tableau 9 les déficits et excédents possibles selon l'état des animaux, leur âge et le système de conduite auquel ils sont soumis.

Les essais d'alimentation confirment que les brebis peuvent puiser sur leurs réserves lipidiques au début de la lactation, le maximum toléré étant une diminution de 1 point de la note d'état corporel en 42 jours (GIBBS et TREACHER, 1980) soit une diminution des apports de 0,85 fois le besoin d'entretien (Tableau 9).

Pour les brebis laitières, les apports alimentaires recommandés sont égaux aux besoins, connus plus précisément que ceux des brebis allaitantes (le Tableau 7 permet de les calculer en fonction de la production laitière). On verra ultérieurement que, pour des contraintes de rationnement par lot, les quantités distribuées sont souvent supérieures à ces recommandations.

2.2. Les apports recommandés en azote

Les résultats de la bibliographie (Figure 4) montrent que la sécrétion de protéines dans le lait (PSL, en g/j) dépend des apports en PDI disponibles au dessus de l'entretien (PDI − E, g/j).

$$(2)\ PSL = 1{,}18\ (PDI - E) - 0{,}0022\ (PDI - E)^2 \qquad n = 77,\ R^2 = 0{,}971$$

Le rendement d'utilisation des PDI, qui correspond à la dérivée de cette fonction curvilinéaire, est donc très dépendant du niveau des apports. Ainsi, pour des apports voisins des besoins de l'entretien (PDI − E = 0) il est de 1,20, car la brebis puise alors sur les protéines corporelles pour produire du lait. Le rendement est de 0,56 pour la valeur moyenne des apports en PDI observée dans ces essais d'alimentation (PDI − E = 139 g/j). Cette valeur est proche de celle obtenue avec les bilans azotés (0,59).

Le rendement marginal des PDI baisse avec des quantités importantes de PDI ingérées (même pour des brebis très productives). Il est nul à partir de 310 g d'apport de PDI/brebis/jour.

A la différence des recommandations en énergie, les apports recommandés en PDI sont égaux aux besoins.

IV. Capacités d'ingestion de la brebis en lactation

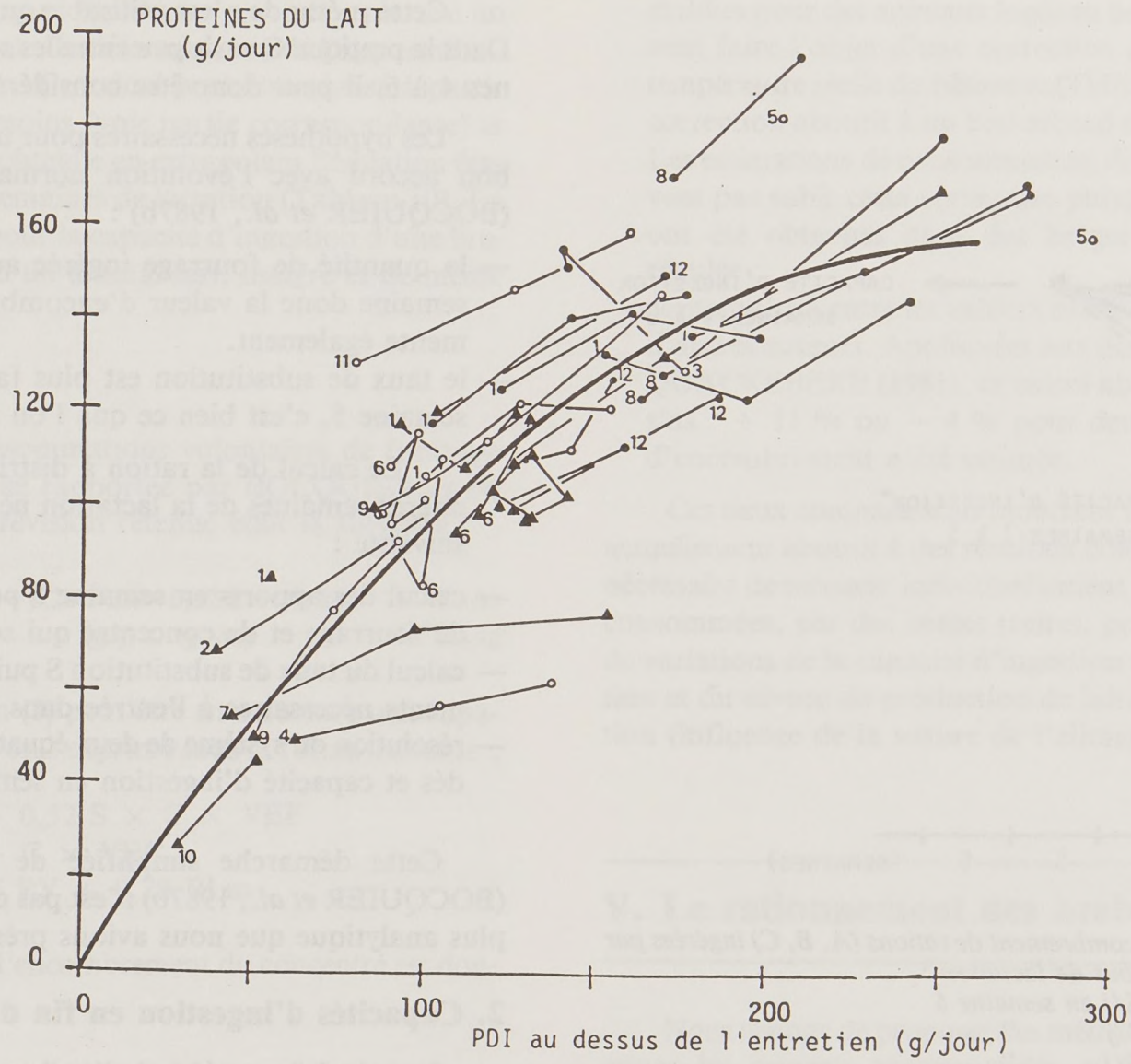
1. La capacité d'ingestion des brebis en début de lactation

Comme pour la fin de la gestation (THERIEZ *et al.*, 1987, dans ce numéro) le système des Unités d'Encombrement ne peut s'appliquer que lorsque la lactation est établie et que le tube digestif s'est adapté à l'ajustement de la consommation aux besoins (FELL *et al.*, 1972). La capacité d'ingestion de la brebis en 5e semaine d'allaitement dépend, par définition, uniquement de facteurs liés à la brebis : son poids vif (+ 19,8 mUEM/kg PV à la mise bas) et sa production de lait (3 mUEM/g de croît de la portée).

$$CI\ (5) = 191 + 19{,}8\ PB(kg) + 3{,}0\ GMQ\ (g/j)$$

Les capacités d'ingestion ainsi calculées peuvent être modulées pour tenir compte de l'effet de l'âge des brebis. Nous avons en effet montré (BOCQUIER *et al.*, 1987 a et b) que les brebis jeunes (2 à 4 ans) ont une capacité d'ingestion systématiquement plus élevée (+ 0,15 UEM) que les brebis de 5 ans et plus.

Le calcul des rations à distribuer de la 4e à la 6e semaine est donc possible puisque l'on connaît les apports recommandés pour cette période et la capacité d'ingestion des brebis en 5e semaine.



(1) : Gonzalez et al., 1982 ; (2) : Hadjipieris et al., 1966 ;
(3) : Loerch et al., 1985 ; (4) : Papas, 1977a ; (5) : Peart et al., 1979 ;
(6) : Robinson et Forbes, 1970b ; (7) : Treacher, 1971 ;
(8) : Cowan et al., 1980, 81 ; (9) : Papas, 1977b ; (10) : Graham, 1966 ;
(11) : Robinson et al., 1974 ; (12) : Robinson et al., 1979

FIG. 4 : *Production de protéines du lait selon les apports en PDI au-dessus de l'entretien : rations comportant de la farine de poisson (●) du tourteau de soja (○) ou d'autres sources azotés (▲).*

Le même calcul ne peut être réalisé pour les 3 premières semaines de la lactation puisque du fait des interactions entre le stade physiologique et la valeur d'encombrement des fourrages, il y a autant de «capacités d'ingestion» que de régimes.

On peut cependant, comme nous l'avons fait pour la gestation, proposer une méthode de calcul basée sur les variations de la quantité totale de MS ingérée.

En effet, nous avons montré (BOCQUIER *et al.*, 1987b) qu'il existe une bonne corrélation entre les consommations de matière sèche totale (fourrage + concentré offert à niveau constant) d'une semaine à l'autre. Il est donc possible de calculer la valeur d'encombrement de la ration (VER) d'une brebis au cours de chacune des 5 premières semaines de la lactation.

La valeur d'encombrement de la ration en 2e semaine (VER2) représente de 81 à 97 % de celle mesurée en 5e semaine (VER5) : 81 % pour les rations les mieux consommées (2500 g de MS/j), 97 % pour les moins appétentes (1600 g de MS/j). Ce rapport VER2/VER5 ne dépend ni de la VEF du fourrage, ni de la quantité d'aliment concentré (distribué en quantité constante) ni de la capacité d'ingestion des brebis.

Si l'on admet que «la capacité d'ingestion» des brebis en semaine 2 est égale à 80 % de la CI en semaine 5, les droites (A) (1600 g de MS ingérée en semaine +5), (B) (2000 g) et (C) (2500 g), qui représentent la variation de la matière sèche ingérée au début de la lactation traduite en UE, (Figure 5), passeront par le point CI(2) si la relation :

$$F_2 \times VEF + S_2 \times C \times VEF = 0{,}8\ (F_5 \times VEF + S_5 \times C \times VEF)$$

est vérifiée.

F_2 et F_5 sont les quantités de fourrages consommées en semaines 2 et 5, S_2 et S_5 les valeurs correspondantes du taux de substitution et C la quantité de concentré.

$$\text{Donc si, } S_2 = 0{,}8\ S_5 + \frac{0{,}8\ F_5 - F_2}{C} = 0{,}8\ S_5 + COR$$

Les valeurs de COR (terme correctif) sont reportées sur le Tableau 10.

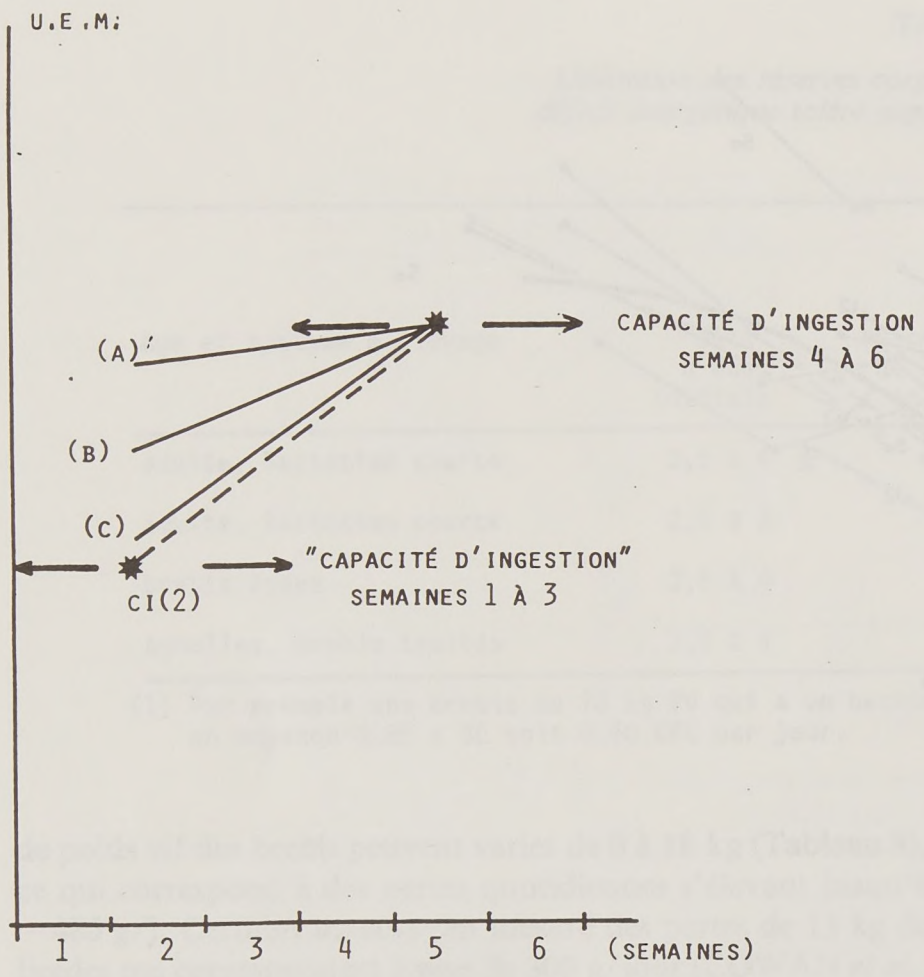


FIG. 5 : *Evolution de l'encombrement de rations (A, B, C) ingérées par une brebis en début de lactation :*
(A) = 1600 gMS/j en semaine 5
(B) = 2000 gMS/j ''
(C) = 2500 gMS/j ''
par hypothèse CI(2) = 0,8 × CI(5)

Cette méthode n'est utilisable que si C demeure constant. Dans la pratique C varie peu entre les semaines 1 à 3 et les semaines 4 à 6, il peut donc être considéré comme constant.

Les hypothèses nécessaires pour utiliser la méthode sont en bon accord avec l'évolution normale de la consommation (BOCQUIER *et al.*, 1987b) :

— la quantité de fourrage ingérée augmente de la 2e à la 5e semaine donc la valeur d'encombrement de la ration augmente également.
— le taux de substitution est plus faible en semaine 2 qu'en semaine 5, c'est bien ce que l'on retrouve ici.

Le calcul de la ration à distribuer au cours des 3 premières semaines de la lactation nécessite donc la démarche suivante :

— calcul des apports en semaine 5 pour connaître la quantité de fourrage et de concentré qui seront nécessaires,
— calcul du taux de substitution S puisque l'on dispose des éléments nécessaires à l'entrée dans le tableau 10
— résolution du système de deux équations : apports recommandés et capacité d'ingestion en semaine 2.

Cette démarche simplifiée de nos résultats antérieurs (BOCQUIER *et al.*, 1987b) n'est pas en contradiction avec celle plus analytique que nous avions présentée alors.

2. Capacités d'ingestion en fin d'allaitement

Le calcul des rations à distribuer à des brebis à partir de la sixième semaine de lactation est très difficile pour les raisons suivantes :

— les brebis et les agneaux consomment la même ration ;
— la production laitière est inconnue (elle ne peut plus être estimée par la croissance des agneaux) ;
— l'état corporel modifie l'ingestion des brebis.

TABLEAU 10

Variation du taux de substitution du concentré au fourrage en 5e semaine d'allaitement
Calcul du taux de substitution en 2e semaine d'allaitement
(S(1 à 3) = 0,8 × S(4 à 6) + COR)

	Valeur d'encombrement du fourrage (UEM/kg MS)							
Taux de substitution	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60
S(4à6)	1,46	1,30	1,14	0,97	0,81	0,66	0,50	0,34
0,8xS(4à6)	1,17	1,04	0,91	0,78	0,65	0,53	0,40	0,27

MSTI(+5) (1)	Quantité de concentré distribuée en semaines 4,5 et 6 : C(+5)										
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
1,60	-1,51	-0,94	-0,66	-0,48	-0,37	-0,29	-0,23	-0,18	-0,14	-0,11	-0,09
1,70	-1,34	-0,82	-0,57	-0,41	-0,31	-0,24	-0,18	-0,14	-0,11	-0,08	-0,06
1,80	-1,16	-0,71	-0,48	-0,34	-0,25	-0,19	-0,14	-0,10	-0,07	-0,05	-0,03
1,90	-0,99	-0,59	-0,39	-0,27	-0,20	-0,14	-0,10	-0,06	-0,04	-0,02	0,00
2,00	-0,81	-0,47	-0,31	-0,20	-0,14	-0,09	-0,05	-0,02	0,00	0,02	0,03
2,10	-0,63	-0,36	-0,22	-0,13	-0,08	-0,04	-0,01	0,01	0,03	0,05	0,06
2,20	-0,46	-0,24	-0,13	-0,06	-0,02	0,01	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09
2,30	-0,29	-0,12	-0,04	0,01	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
2,40	-0,11	-0,01	0,05	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
2,50	0,07	0,11	0,13	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18

(1) MSTI(+5):Matière Sèche Totale Ingérée (kg) en 5ème semaine (pour les semaines 4,5 et 6)
MSTI(+5) et C(+5) sont obtenus lors du calcul de la ration en 5ème semaine d'allaitement

C'est pourquoi nous nous limiterons pour cette phase à un seul aspect du rationnement : la détermination de l'apport d'aliment concentré aux mères. Ce calcul peut être réalisé à partir de la connaissance des besoins (voir partie correspondante) et de la capacité d'ingestion obtenue en extrapolant l'équation établie pour les 6 premières semaines de lactation (Tableau 10). La limite inférieure retenue pour la capacité d'ingestion d'une brebis en lactation est celle d'un animal tari, maigre et de même poids.

3. La brebis laitière

La prévision des consommations volontaires de fourrage par ce type de brebis a été rapportée par BOCQUIER *et al.* (1987b) : l'équation de prévision retenue était la suivante :

$$(3)\quad F \times VEF = 1056 + 19{,}5\ PV + 0{,}29\ PL_m - 0{,}52\ S \times C \pm 83 \qquad n = 31$$
$$\text{(mUEM)} \qquad \text{(kg)} \qquad \text{(g/j)} \qquad \text{(g MS)} \qquad R^2 = 0{,}83$$

En fait cette équation (3) peut être transformée «en capacité d'ingestion» («CI») si on l'exprime sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} \text{«CI»} &= F \times VEF + 0{,}52\ S \times C \times VEF \\ &= F \times VEF + C \times VEC \\ &= 1056 + 19{,}5\ PV + 0{,}29\ PLm \end{aligned}$$

VEC = 0,52 S : la valeur d'encombrement du concentré est donnée dans le Tableau 11.

Les résultats de cette équation de prévision ont été confrontés à ceux obtenus par 2 autres méthodes différentes :

— comparaison des quantités de fourrages que consommerait une même brebis passant en 5e semaine de l'allaitement à la traite. Au début de la période de traite ce changement de méthode de calcul ne devrait pas aboutir à des différences importantes de consommation. c'est ce que nous observons avec des productions laitières de 2 à 3 litres par jour pour des brebis recevant 600 à 800 g d'aliment concentré et des fourrages dont la valeur d'encombrement varie de 0,9 à 1,3 UEM/kg de MS. Les quantités de matière sèche ingérées prédites pour les brebis à la traite sont systématiquement supérieures à celles prévues pour les mêmes animaux en allaitement. L'écart est voisin de 10 p. 100. Cet écart est dû à deux facteurs : d'une part l'estimation de la production laitière : 5 kg de lait par kg de gain des agneaux, est probablement trop faible ce qui conduit à sous-estimer la capacité d'ingestion des brebis allaitantes. D'autre part les équations de prévision de la capacité d'ingestion des brebis allaitantes ont été établies pour des animaux logés en bergerie à 18-19° C et doivent faire l'objet d'une correction pour tenir compte de la température réelle du bâtiment (THERIEZ *et al.*, 1987). Cette correction aboutit à un bon accord entre les deux méthodes. Les estimations de consommation de la brebis laitière ne doivent pas subir cette correction puisque les données utilisées ont été obtenues dans des bergeries à température non régulée ;
— comparaison entre les valeurs prédites et celles mesurées par d'autres auteurs. Appliquées aux données de CASE et VAN QUACKEBEKE (1981), ce calcul aboutit à des résultats voisins : + 11 % ou − 4 % pour deux foins, dont la valeur d'encombrement a été estimée.

Ces deux comparaisons montrent que l'équation proposée actuellement aboutit à des résultats cohérents. Cependant il est nécessaire de mesurer individuellement les quantités d'aliments consommées, par des brebis traites, pour préciser les facteurs de variations de la capacité d'ingestion (effet du stade de lactation et du niveau de production de lait) et les taux de substitution (influence de la nature de l'aliment concentré).

V. Le rationnement des brebis en lactation

Nous venons de proposer des méthodes de calcul pour déterminer les apports recommandés et la capacité d'ingestion moyenne d'une «brebis moyenne». Ces résultats doivent maintenant être appliqués à des lots d'effectif important. Ces lots sont constitués d'animaux d'âge, de poids et de performances diverses. Il est donc nécessaire de tenir compte de cette hétérogénéité.

Pour les brebis en lactation on peut dissocier deux cas : les brebis allaitantes qui restent pendant plusieurs semaines dans les mêmes lots d'élevage et les brebis traites qui doivent être déplacées 2 fois par jour.

Les premières peuvent être réparties en petits lots suivant leur niveau de production, leur état corporel. Les secondes sont au contraire conduites en lots importants.

1. Les brebis allaitantes

Les apports recommandés peuvent s'appliquer directement à des lots homogènes de brebis allaitantes. Ainsi nous avons mesuré la consommation de foin au début de la lactation de lots

TABLEAU 11

Valeur d'encombrement du concentré (VEC) en fonction de la valeur d'encombrement des fourrages (VEF) pour les brebis traites

	VALEUR D'ENCOMBREMENT DU FOURRAGE : UEM/kg MS						
Stade	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
Traite 1er et 2ème mois	0,53	0,51	0,45	0,39	0,34	0,28	0,27
Traite 3ème mois (1)	1,04	1,01	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78

(1) Ces valeurs sont extraites d'un nombre d'essais limités.

de brebis placées en bergerie ouverte. Après correction pour l'effet de la température, cette consommation est égale à la valeur prédite à partir des données individuelles qui ont servi à établir les recommandations (Figure 6).

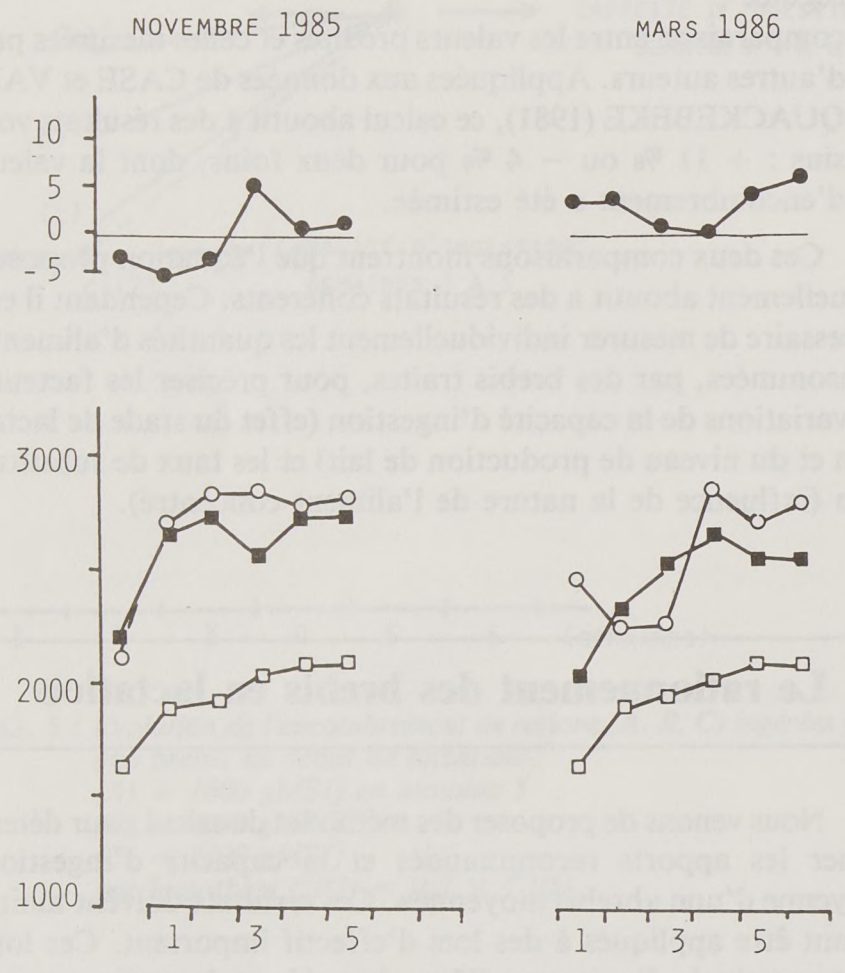


FIG. 6 : *Consommation de foin par la brebis allaitante :* ○*Mesurée,* □ *prédite et* ■ *corrigée*

2. Les brebis traites

Pendant la phase de bergerie, les rations distribuées dépassent souvent les apports alimentaires recommandés : 20 % pour l'énergie et jusqu'à 60 % pour les PDI. Cet excédent est destiné à tenir compte de la structure des lots et de leur hétérogénéité. Pour une même production laitière moyenne (PLm) on peut avoir une dispersion plus ou moins importante autour de cette valeur. L'écart type (ECT) de la moyenne du lot peut représenter 15 % de la moyenne dans les lots homogènes et jusqu'à 40 % lorsque les agnelages sont dispersés ou lorsque les primipares qui agnèlent plus tard sont incluses (il y a alors une forte variabilité entre brebis).

L'apport correspondant à la couverture des besoins pour la production moyenne du lot n'est suffisant que pour 50 % des brebis. Si l'on veut couvrir les besoins de 66, 83 ou 97 % des animaux, la production à prendre en compte pour ce calcul sera respectivement de PLm + 0,44 ECT, PLm + 1,0 ECT ou PLm + 2,0 ECT. Réduire l'écart type en constituant des lots homogènes de brebis permet de mieux les nourrir tout en réduisant le gaspillage.

Conclusion

Les nouvelles tables de besoins et apports alimentaires recommandés pour les ovins apportent de nombreuses modifications par rapport aux précédentes. Plusieurs aspects de l'alimentation de la brebis restent encore incertains tels le rendement d'utilisation de l'énergie pendant la lactation et en particulier celui des réserves corporelles.

Un aspect important de l'alimentation azotée de la brebis a également été mis en évidence. Il concerne la qualité des protéines utilisées : qualité qui est traitée en partie par le système PDI mais de manière insuffisante pour les fortes productrices dont les besoins en acides aminés essentiels (méthionine en particulier) sont élevés et peuvent entrer en compétition avec la production de laine.

L'alimentation de la brebis laitière demeure mal connue : choix des apports recommandés, influence de l'alimentation sur la composition du lait, facteur de variation de la capacité d'ingestion. La mise en place d'un programme de recherche sur cet animal permettra de disposer des éléments nécessaires pour l'édition ultérieure de tables de besoins spécifiques à cette spéculation. Elle permettra également, grâce à la précision des mesures de production laitière à la traite, de mieux connaître les besoins des brebis allaitantes dont, jusqu'à ce jour, la production laitière n'est qu'estimée.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Mesdames Michèle de Martrin et Béatrice Dordonnat pour la dactylographie et Lucienne Souchet pour les références bibliographiques ; et P. Lebecque pour les illustrations.

Références bibliographiques

BARILLET F., 1985. Amélioration génétique de la composition du lait des brebis : l'exemple de la race Lacaune. Thèse Doc. Ing. INA-PG., pp. 144.

BENAZZOUH H., 1985. Effets de la quantité et de la qualité des matières azotées du régime sur la production laitière et la mobilisation des réserves corporelles par la brebis allaitante en déficit énergétique. Thèse de Doctorat. 3e Cycle Clermont-Ferrand, 141 p.

BOCQUIER F., THERIEZ M., 1984. Prediction of ewe body composition at different physiological states. In «In Vivo Measurement of Body Composition in Meat Animals», Proc. E.E.C., Bristol 1983, (Eds LISTER, ELSEVIER), 152-157.

BOCQUIER F., THERIEZ M., BRELURUT A., 1987a. The voluntary hay intake of ewes during the first weeks of lactation. Anim. Prod., 44, 387-394.

BOCQUIER F., THERIEZ M., BRELURUT A., 1987b. Utilisation du foin par la brebis. C. DEMARQUILLY Ed., les Fourrages secs, récolte, traitement, utilisation. INRA, Paris 1987.

CASE J.P., VAN QUACKERECK E., 1981. Utilisation des fourrages conservés par les brebis laitières. ITCF-ITOVIC, 149 rue de Bercy, 75012 Paris, pp. 72.

COWAN R.T., ROBINSON J.J., GREENHALGH J.F.D., Mc HATTIE I., 1979. Body composition changes in lactating ewes estimated by serial slaughter and deuterium dilution. Anim. Prod., 29, 81-90.

COWAN R.T., ROBINSON J.J., Mc DONALD I., 1982. A note of the effects of body factors and level of food intake on the rate of fat loss in lactating ewes. Anim. Prod., 34, 355-357.

COWAN R.T., ROBINSON J.J., Mc DONALD I., SMART R., 1980. Effects of body fatness at lambing and diet in lactation on body tissue loss, feed intake and milk yield of ewes in early lactation. J. Agric. Sci. Camb., 95, 497-514.

COWAN R.T., ROBINSON J.J., Mc HATTIE I., FRASER C., 1980. The prediction of body composition in live ewes in early lactation from live weight and estimates of gut contents and total body water. J. Agric. Sci. Camb., 95, 515-522.

COWAN R.T., ROBINSON J.J., Mc HATTIE I., PENNIE K., 1981. Effects of protein concentration in the diet on milk yield change in body composition and the efficiency of utilisation of body tissue for milk production in ewes. Anim. Prod., 33, 111-120.

DONEY J.M., PEART J.N., SMITH W.F., 1981. The effect of interaction of ewe and lamb genotype on milk production of ewes and on growth of lambs to weaning. Anim. Prod., 33, 137-142.

DONEY J.M., PEART J.N., SMITH W.F., SIM D.A., 1983. Lactation performances, herbage intake and lamb growth of scottish Blackface and East Friesland × Scottish Blackface ewes grazing hill or improved pasture. Anim. Prod., 37, 283-292.

ERB R.E., SITARZ N.E., MALVEN P.V., 1976. Blood plasma and milk prolactin effect of sampling technique on composition of milk from suckled ewes. J. Dairy Sci., 60, 197-203.

FARELL D.J., LENG R.A., CORBETT J.L., 1972. Undernutrition in grazing sheep. I. Changes in the composition of the body, blood and rumen contents. Austr. J. Agric. Res., 23, 483-497.

FELL B.F., CAMPBELL R.M., MACKIE W.S., WEEKES T.E.C., 1972. Changes associated with pregnancy and lactation in some extra-reproductives organes of the ewe. J. Agric. Sci. Camb., 79, 397-407.

GEENTY K.G., 1979. Lactation performance growth and carcass composition of sheeps : I milk production, milk composition and live weight of Romney Corriedale, Dorset, Romney × Dorset, and Dorset × Romney ewes in relation to the growth of their lambs. N. Z. J. Of Agric. Res., 22, 241-250.

GEENTY K.G., SYKES A.R., 1986a. Effect of herbage allowance during pregnancy and lactation on feed intake, milk production, body composition and energy utilization of ewes at pasture. J. Agric. Sci. Camb., 106, 351-367.

GEENTY K.G., SYKES A.R., 1986b. A note on the estimation of milk production in sheep. Anim. Prod., 43 (1), 171-174.

GIBB M.J., TREACHER T.T., 1978. The effect of herbage allowance on herbage intake and performance of ewes and their twin lambs grazing perennial rye grass. J. Agric. Sci. Camb., 90, 139-147.

GIBB M.J., TREACHER T.T., 1980. The effect of body condition at lambing on the performance of ewes and their lambs at pasture. J. Agric. Sci. Camb., 95, 631-640.

GIBB M.J., TREACHER T.T., 1982. The effect of body condition and nutrition during late pregnancy in the performance of grazing ewes during lactation. Anim. Prod., 34, 123-129.

GONZALEZ J.S., ROBINSON J.J., Mc HATTIE I., FRASER C., 1982. The effect in ewe of source and level of dietary protein on milk yield and the relationship between the intestinal supply of non ammonia nitrogen and the production of milk protein. Anim. Prod., 34, 31-40.

GONZALEZ J.S., ROBINSON J.J., Mc HATTIE J., 1984. The effect of level of feeding on the response of lactating ewes ot dietary supplements of fish neal. Anim. Prod., 40, 39-45.

HADJIPIERIS G., JONES J.G.W., WIMBLE R.H., HOLMES W., 1966. Studies on feed intake and feed utilization by sheep. II - The utilization of feed by ewes. J. Agric. Sci. Camb., 6, 341-349.

INRA., 1978. Alimentation des ruminants. INRA. Publ., Route de St-Cyr, 78000 Versailles, 597 p.

LOERCH S.C., Mc CLURE K.E., PARKER C.F., 1985. Effects of number of lambs suckled and supplemental protein source on lactating ewe performance. J. Anim. Sci., 60 (1), 7-13.

MEAT LIVESTOCK COMMISSION., 1983. Feeding the ewe. UK, MLC, SF. Milton Keynes, 78 p.

Mc GRAHAM N., 1966. Energy exchanges of pregnant and lactating ewes. Aust. J. Agric. Res., 15, 127-141.

PAPAS A., 1977a. Protein requirements of lactating chios ewes. J. Anim. Sci., 44 (4), 672-679.

PEART J.N., DONEY J.M., SMITH W.F., 1979. Lactation pattern in Scottish Blackface and East Friesland × Scottish Blackface cross-bred ewes. J. Agric. Sci. Camb., 92, 133-138.

PEART J.N., EDWARDS R.A., DONALDSON E., 1972. The yield and composition of the milk of finish Laudrace × Brackface ewes. J. Agric. Sci. Cambs., 79, 303-313. Thèse 1.

ROBINSON J.J., FORBES T.J., 1970a. The effects of roughage to concentrate ratio in the diet on protein and energy utilization by the non pregnant ewe. J. Agric. Sci., Camb., 74, 415-421.

ROBINSON J.J., FORBES T.J., 1970b. Studies on protein utilization by ewes during lactation. Anim. Prod., 12, 601-610.

ROBINSON J.J., FRASER C., GILL J.C., Mc HATTIE I., 1974. The effect of dietary crude protein concentration and time of weaning on milk production and body weight change in the ewe. Anim. Prod., 19, 331-339.

ROBINSON J.J., Mc HATTIE I., GALDERON-CORTES J.F., THOMPSON J.L., 1979. Further studies on the response of lactating ewes to dietary protein. Anim. Prod., 29, 257-269.

RUSSEL A.J.F., DONEY J.M., GUNN R.G., 1969. Subjective assesement of body fat in live sheep. J. Agric. Sci. Camb., 72, 451-454.

THERIEZ M., BOCQUIER F., BRELURUT A., 1987. Alimentation des brebis à l'entretien ou pendant la gestation. Bull. Tech. CRZV-Theix, INRA, 70.

TISSIER M., THERIEZ M., PURROY A., BOCQUIER F., 1983. Estimation in vivo de la composition corporelle de la brebis par la mesure de l'espace de diffusion de l'eau lourde. Reprod. Nutr. Develop., 23 (4), 693-707.

TISSIER M., THERIEZ M., PURROY A., BRELURUT A., 1979. Energy utilization by ewes during pregnancy and lactation. In «Energy metabolism» (I.E. MOUNT, Ed), Butterworths, Eur. Ass. Anim. Prod., Publ. n° 26, 329-333.

TORRES-HERNANDEZ G., HOHENBOKEN W.D., 1980. Biometric properties of lactations in ewes raising singles of twin lambs. Anim. Prod., 30, 431-436.

TREACHER T.T., 1971. Effects of nutrition in pregnancy and in lactation on milk yield in ewes. Anim. Prod., 13, 493-501.

VERMOREL M., BOCQUIER F., VERNET J., BRELURUT A., 1985. Mobilisation and reconstitution of body reserves in dairy ewes studies by on direct calorimetry and D20 dilution technique. Proceeding of the Xth International Symposium on Energy Metabolism, Airlie, USA.

WILLIAMS A.P., BISHOP DINAH R., COCKBURN J.E., SCOTT K.J., 1976. Composition of ewe's milk. J. Dairy. Res., 43, 325-329.

WOHLT J.E., KLEYN D.H., VANDERNOOT G.W., SELFRIDGER J., NOVOTNEY C.A., 1981. Effect of stage of lactation, age of ewe, sibling status, and sex of lambs on gross and minor constituents of dorset ewe milk. J. Dairy Sci., 64, 2175-2184.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1987 (70) 213-222

Recommandations alimentaires pour les caprins

P. MORAND-FEHR, D. SAUVANT et J. BRUN-BELLUT*

INRA - INA PG, Station de Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05
INRA - ENSAIA, 2, avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandœuvre

Depuis 10 ans, les connaissances sur l'alimentation des caprins ont progressé mais des informations spécifiques sur ces animaux font encore défaut dans des domaines importants. En conséquence, pour proposer un ensemble cohérent de recommandations alimentaires, il est encore nécessaire de s'appuyer en partie sur des données enregistrées sur ovins et sur vaches laitières.

Le but de cet article est de présenter les progrès réalisés sur les apports recommandés pour les caprins depuis 1978 (MORAND-FEHR et SAUVANT, 1978), de les comparer lorsque cela est possible aux données publiées à l'étranger et enfin de les replacer dans le cadre des connaissances générales appliquées à l'alimentation des caprins, qui sont décrites par MORAND-FEHR et SAUVANT (1988).

Capacité d'ingestion

Comportement alimentaire

Il est maintenant bien établi que les caprins sélectionnent plus que les autres ruminants ou différemment ce qu'ils ingèrent, autant à l'auge (MORAND-FEHR *et al.*, 1980 ; DE SIMIANE *et al.*, 1981 ; VAN SOEST, 1982 ; GIGER *et al.*, 1987 ; LU *et al.*, 1987) qu'au pâturage (DEVENDRA et BURNS, 1982 ; DE SIMIANE *et al.*, 1983) et sur parcours (MALECHEK et PROVENZA, 1981 ; MONRAND-FEHR *et al.*, 1985). En conséquence, ils prennent plus de temps pour choisir ce qu'ils ingèrent ou pour rechercher leur nourriture. Cela se traduit dans tous les cas, par une amélioration de la valeur nutritive de l'ingéré de 5 à 20 % par rapport au fourrage disponible. En raison de ce comportement de choix, la vitesse d'ingestion de la chèvre est en général inférieure à celle du mouton ; ce qui, dans certains cas, peut diminuer la quantité de fourrage ingérée par jour. En revanche, en zone aride, le fait qu'elle recherche sa nourriture pendant longtemps peut augmenter les quantités ingérées.

Prévision des quantités ingérées

Les taux importants de refus et les différences de composition entre le distribué et l'ingéré compliquent la prévision des quantités ingérées. A la suite des premiers travaux de SAUVANT et MORAND-FEHR (1981), d'autres auteurs ont établi des équations de prévision des quantités de matière sèche totale ingérée en fonction de paramètres liés à l'animal et à la ration (DE SIMIANE *et al.*, 1981, 1983 ; MORAND-FEHR *et al.*, 1987 ; GIGER, 1987 ; WILKILSON et STARK, 1987). L'expression de la capacité d'ingestion en kg de matière sèche permet d'estimer les quantités ingérées des rations à base de fourrages bien connus comme le foin de luzerne de moyenne ou bonne qualité et bien pourvues en aliments concentrés. Mais elle moins satisfaisante pour des fourrages de qualité plus variable ou moins bien connus. C'est la raison pour laquelle nous avons cherché à adapter le système des unités d'encombrement aux valeurs de capacité d'ingestion des chèvres laitières.

SAUVANT, en 1978, avait défini des valeurs de capacité d'ingestion exprimées en unités d'encombrement mouton (UEM) pour les chèvres en fonction de leur poids vif, de leur production de lait et de leur gain ou perte de poids. Mais le système des UE en 1978 présentait des inconvénients décrits par ailleurs. Giger (1987), à partir de 219 données sur chèvres en lactation, a établi qu'une chèvre de 60 kg produisant 3 kg de lait d'un taux butyreux de 35 p. 1 000 consommait 2,5 kg de M.S. d'un régime composé de 47 p. 100 de foin de luzerne, 29 p. 100 d'ensilage de maïs et 24 p. 100 d'aliment concentré si son bilan énergétique était nul. Cette chèvre a une capacité d'ingestion de 2,65 UEM en prenant un coefficient moyen de substitution pour l'aliment concentré de 0,50. L'étude a été reprise par SAUVANT *et al.* (non publié) à partir des données récentes de notre Station et de la Station d'Amélioration des Plantes Fourragères de Lusignan pour savoir si les unités d'encombrement nouvellement définies (UEM, UEB ou UEL) pouvaient s'appliquer aux chèvres ou si la définition d'une quatrième unité d'encombrement spécifique était nécessaire. Les données de Lusignan où les même fourrages ont été distribués à des moutons et à des chèvres laitières ont permis d'établir que la matière sèche ingérée par les chèvres était linéairement liée à celle ingérée par le mouton standard. Cette relation est proche de celle obtenue entre les vaches laitières et le mouton standard. Ces observations ont suggéré d'adopter l'unité d'encombrement lait pour la chèvre laitière. Nous avons comparé la capacité d'ingestion de la vache et de la chèvre à même niveau de production (besoin énergétique d'entretien et de production / besoin énergétique d'entretien) pour définir l'échelle de capacité d'ingestion des chèvres. La chèvre pesant 60 kg et produisant 4,0 kg de lait à 35 p. 1 000 de taux butyreux présente le même niveau de production que la vache produisant 25 kg de lait à 40 p. 1 000 de taux butyreux.

Elle définit la chèvre standard du système UEL qui consomme 120 g/kg $P^{0,75}$ de matière sèche de l'herbe de référence ayant une valeur de 1 UE/kg MS chez le mouton standard ou la vache laitière. Les valeurs d'encombrement des fourrages pour cette chèvre standard ont été établies en fonction de leur valeur énergétique, et les valeurs d'encombrement du concentré en fonction des valeurs d'encombrement et d'énergie des fourrages et de la production laitière des chèvres.

Les données d'ingestion obtenues à l'INA-PG ont permis d'établir les valeurs de capacité d'ngestion en UEL selon le stade physiologique des chèvres (tableau 1).

Ce système UEL doit être appliqué aux chèvres avec beaucoup de prudence parce que la réaction des vaches et des chèvres vis-à-vis de certains fourrages peut être sensiblement différente. En outre, il n'a pu encore être testé avec des types de rations très variés. L'accumulation d'observations interprétées à travers ce système permettra au cours des prochaines années de le rendre plus spécifique aux caprins.

TABLEAU 1

Variations de la capacité d'ingestion des chèvres selon leur stade physiologique.

Chèvre de 60 kg à l'entretien = 1,72 UEL
Différence de 10 kg de poids vif = 0,10 UEL
Chèvre en gestation
- 4 premiers mois : même valeur que pour l'entretien
- 5ème mois : 90 % de la valeur pour l'entretien
Chèvre en lactation
- à partir du 2ème mois de lactation
* chèvre de 60 kg produisant 4 kg de lait = 2,65 UEL (35 p. 1000 de taux butyreux) (chèvre standard)
* différence d'un kg de lait = 0,23 UEL (35 p. 1000 de taux butyreux)
- en 1° semaine de lactation : 0,72 x valeur de la CI au 2° mois de lactation
- en 2° semaine de lactation : 0,83 x valeur de la CI au 2° mois de lactation
- en 3° semaine de lactation : 0,90 x valeur de la CI au 2° mois de lactation
- en 4° semaine de lactation : 0,95 x valeur de la CI au 2° mois de lactation

Digestibilité des fourrages

DEVENDRA (1978) en rassemblant les résultats d'une vingtaine d'expériences conduites en milieu tropical a montré que la chèvre avait tendance à mieux digérer la matière organique mais surtout les glucides pariétaux que les autres ruminants. Toutefois, les auteurs utilisant les expériences réalisées en milieu tempéré mettent rarement en évidence cette différence entre les caprins et les autres ruminants (DE SIMIANE *et al.*, 1981 ; BROWN et JOHNSON, 1984) ; même dans quelques cas, la chèvre digérerait moins bien la cellulose brute des fourrages que le mouton à des niveaux de production voisins.

En réalité, les récents résultats de GIHAD *et al.* (1980), ANTONION et HADJIPANAYIOTOU (1985), MASSON *et al.* (1986) montrent que le plus souvent les digestibilités des fourrages de moyenne ou bonne qualité tels que le foin de luzerne sont très voisines chez les ovins et les caprins. En revanche, dans le cas de fourrages de médiocre qualité (type paille traitée ou non), la chèvre a tendance à mieux digérer la cellulose brute et dans certains cas, la matière organique.

Cette meilleure digestibilité des fourrages pauvres par la chèvre pourrait s'expliquer par un recyclage de l'urée sanguine plus intense d'après MORAND-FEHR (1981 b) et MASSON *et al.* (1986) (cf paragraphe "Besoins azotés"). En outre, SILANIKOVE (1986) a mis en évidence que la digestibilité était supérieure chez les chèvres bédouines adaptées aux fourrages des zones désertiques par rapport aux chèvres Saanen, d'autant plus que la qualité des fourrages était médiocre, alors qu'il n'observe aucune différence de digestibilité entre ces 2 races quand les chèvres consomment du foin de luzerne.

Compte-tenu des connaissances actuelles, on peut considérer qu'il n'y a pas de différence de digestibilité entre les ovins et les caprins dans le cas de fourrages de zone tempérée excepté pour la paille distribuée comme seul fourrage. BLANCHART *et al.* (1980) ont montré que les coefficients d'utilisation digestive des caprins étaient hautement corrélés avec ceux des moutons. GIGER *et al.* (1987) indiquent que les chèvres digèrent légèrement mieux le foin de luzerne (+ 1,5 point de DMO) que le mouton castré standard mais une partie de la différence peut s'expliquer par le taux de refus supérieur des chèvres. En définitive, il apparaît que les valeurs de digestibilité obtenues sur moutons peuvent s'appliquer sur les caprins et en particulier sur les chèvres laitières, d'autant plus que le niveau d'alimentation ou l'état physiologique (chèvres taries ou en lactation) semble peu influencer la digestibilité de la ration totale comme l'ont montré GIGER *et al.* (1986 et 1987) et GIGER (1987).

Besoins énergétiques

Les besoins énergétiques d'entretien, de production laitière et du gain de poids vif ont été calculés à partir de résultats obtenus sur 94 chèvres en phase descendante de lactation (Sauvant, Morand-Fehr, non publié).

Entretien

La valeur du besoin d'entretien obtenu : 65,3 kcal EN/kg $P^{0,75}$ a été retenue par MORAND-FEHR et SAUVANT (1978). RAJPOOT *et al* (1981) situent ce besoin exprimé en énergie nette (EN) entre 61,4 et 68,7 kcal/kg $P^{0,75}$. SAUVANT (1981) à partir des données publiées sur le sujet et GIGER (1987) à partir de données expérimentales récentes ont confirmé la valeur retenue en 1978. Le NRC (1981) a retenu une valeur en énergie métabolisable correspondant en énergie nette à 60,8 kcal/kg $P^{0,75}$. Pour fixer cette valeur, il s'est fondé essentiellement sur des résultats obtenus sur des chèvres vivant dans des zones tropicales ou désertiques. Or les chèvres de ces régions ont tendance à avoir un métabolisme de base plus faible comme le confirme SILANIKOVE (1986) en comparant les chèvres Saanen et bédouines. La valeur de 65,3 kcal/kg $P^{0,75}$ a été conservée et les valeurs

d'apports recommandés ont été simplement réajustées en fonction de la nouvelle définition de l'UFL : 1 700 kcal (tableau 2).

Il semble que la chèvre laitière ait un besoin d'entretien légèrement supérieur à celui de la brebis allaitante parce que leur métabolisme de jeûne est déjà différent mais aussi peut-être parce que les mesures du besoin d'entretien ont été effectuées sur des brebis à l'entretien et sur des chèvres en lactation. Or dans ce cas, les animaux en lactation ont le plus souvent un besoin d'entretien légèrement supérieur à celui des chèvres taries (OYENUGA et AKINSOYINU 1976, RAJPOOT 1978). En France, le besoin d'entretien de la chèvre est proche de celui de la vache laitière. En revanche, aux Etats-Unis (NRC 1981), il est plus proche de celui de la brebis parce que les chèvres utilisées pour établir ce besoin sont à l'entretien pendant une partie de l'année et ont une conduite d'élevage comparable à celle des brebis allaitantes.

Le besoin d'entretien peut également varier selon les conditions de milieu (température, vitesse du vent...) et la conduite d'élevage (HOLMES et MORE, 1981) et aussi selon l'activité physique de l'animal : dans un même environnement, les chèvres parcourent une distance supérieure à celle des ovins et des bovins de l'ordre de 50 % et surtout leur aptitude à l'escalade sur parcours montagneux ou accidenté est nettement plus affirmée que chez les autres ruminants. A défaut de données récentes, les résultats de BLAXTER (1962) permettent d'estimer à 0,02 UFL la dépense supplémentaire d'un déplacement de 1 km sur terrain plat et à 0,03 UFL celle d'une escalade de 100 m de dénivellé.

Ainsi sur prairie, les chèvres peuvent parcourir pendant la journée 2 à 3 km, soit une augmentation du besoin d'entretien de moins de 10 % qu'il faut en outre majorer suivant les conditions climatiques. Le besoin supplémentaire se situe entre 10 et 20 % du besoin d'entretien.

Sur parcours plat, la chèvre peut limiter ses déplacements journaliers à 5 km dans le cas d'un parcours de bonne qualité ; en revanche, sur parcours en zone très aride, la distance parcourue par une chèvre peut atteindre jusqu'à 20 km. Par ailleurs, une chèvre peut dans la journée grimper et redescendre aisément 900 m de dénivellé et au maximum 1 500 m sur parcours montagneux.

Ainsi dans la plupart des parcours exploités en France, l'augmentation du besoin d'entretien doit être de l'ordre de 30 à 50 % et en zone très aride de 50 à 80 %. Ces propositions rejoignent celles du NRC (1981) qui font varier ces pourcentages de 25 % à 75 % en fonction de la nature du parcours. WILKILSON et STARK (1987) considèrent qu'en Grande-Bretagne, le besoin d'entretien doit être augmenté de 25 % sur les pâturages de plaine et de 50 % sur les pâturages extensifs de collines ou de montagne.

Signification énergétique de la variation pondérale de l'adulte

Les apports recommandés pour les chèvres à l'entretien doivent être aussi modifiés selon l'évolution du poids des chèvres. Les valeurs énergétiques de 3,9 et 3,7 UFL du kg de gain et de perte de poids respectivement ont été établies par SAUCANT et MORAND-FEHR (1987) sur chèvres en lactation. Les estimations correspondantes sont sensiblement supérieures en Grande-Bretagne : 4,8 et 4,0 UFL respectivement (WILKILSON et STARK 1987).

Gestation

Les besoins cumulés de gestation ont été estimés selon la démarche factorielle à partir des dépenses d'entretien et des quantités fixées par l'utérus gravide suivant le modèle utilisé en brebis (TISSIER et THERIEZ 1978).

TABLEAU 2

Apports alimentaires recommandés pour les chèvres.

	Apports énergétiques (UFL/j)	Apports PDI (g/j)
Entretien (par kg $P^{0.75}$)	0,0384	2,5
par kg de lait à 35 p1000 de taux butyreux	0,385	45
par point de taux butyreux en p1000	0,0065	
Gestation (5 dernières semaines) (par kg $P^{0.75}$)	0,0095	3
Variation de poids :		
Gain de 0,1 kg/j	0,39	10
Perte de 0,1 kg/j	0,37	

	Ca (g/j)	P (g/j)
Entretien (par chèvre)	1 + 0,05 x PV (kg)	0,05 x PV (kg)
kg lait à 35 p1000 de taux butyreux	4 (1er kg) 2,5 (6ème kg)	1,5 (3 premiers kg) 1 (kg suivants)
Gestation	0,1 x PV (en kg)	0,025 x PV (en kg)

Besoin spécifique en fin de gestation (en kcal E.N./j) = (0,0302 e + $^{0,1609\ t}$) PCN ^{1,336} où t est le temps en semaines à partir de la parturition et PCN, le poids des chevreaux à la naissance.

Ce besoin cumulé (entretien + gestation) au cours des 6 dernières semaines est de 77 kcal/kg $P^{0,75}$ soit une augmentation de 20 % du besoin d'entretien. Comme il a été adopté le principe de présenter les apports recommandés pendant la gestation en trois périodes : les trois premiers mois où cet apport est le même qu'à l'entretien, le 4e mois où l'apport d'entretien est augmenté de 13 % et le 5e mois où ce dernier est augmenté de 25 %.

Lactation

La valeur de 704 kcal E.N./kg de lait à 35 pour 1 000 de T.B. proposée en 1978 est très proche des valeurs adoptées par le NRC (1981) et par WILKILSON et STARK (1987) qui, exprimées en énergie nette, équivalent respectivement à des valeurs de 730 et 724 kcal/kg de lait à 35 p. 1 000 de T.B. La différence de 3 % environ entre ces valeurs et celle que nous avons adoptée en 1978 peut probablement s'expliquer par des compositions légèrement différentes du lait des chèvres utilisées pour l'évaluation du besoin de production laitière.

En conséquence, la valeur de 704 kcal a été maintenue mais le besoin énergétique pour la production d'1 kg de lait à 35 p. 100 de T.B. est passé de 0,410 à 0,385 UFL pour tenir compte de la nouvelle valeur de l'UFL.

Production de poil

Le besoin énergétique pour la production de poil a été estimé par HUSTON *et al.* (1971) en considérant que l'efficacité de l'énergie métabolisable pour la production de poil est de 33 %. A partir des données de cet auteur, le besoin correspondant est de 0,01 UFL par jour par kg de mohair produit par an puisque la production d'un kg de mohair demande 6 250 kcal EN. Ce besoin supplémentaire apparaît donc comme négligeable même pour les races spécialisées dans production de poil.

Croissance

Le besoin de croissance a été calculé à partir du besoin d'entretien et de la valeur énergétique du kg de gain. Comme nous ne disposions pas encore des données du travail en cours de réalisation de SCHMIDELY *et al.* sur chevreaux Alpins et Saanen, nous avons estimé la valeur énergétique du gain de poids à partir de résultats de JAGUSH *et al.* (1983), PANARETTO et TILL (1963), SANZ SAMPELAYO *et al.* (1987), BAS *et al.* (non publié). Comme la teneur en tissus adipeux du chevreau est sensiblement inférieure à celle de l'agneau, la valeur énergétique du kg de gain de poids du chevreau qui a été adoptée varie de 2 400 kcal à 1 mois à 3 500 kcal à 7 mois.

Ces valeurs sont nettement inférieures à celles du NRC (1981) qui a utilisé des chevreaux de race tropicale sensiblement plus gras que les chevreaux Alpins et Saanen, et de WILKILSON et STARK (1987) qui ont appliqué une valeur énergétique d'un kg de gain de poids de 4 800 kcal EN. Cette valeur correspond au gain des chèvres adultes qui est essentiellement composé de tissus adipeux alors que la synthèse musculaire est importante chez le jeune en croissance.

Apports énergétiques recommandés

L'application des apports énergétiques recommandés doit tenir compte du rôle joué par les réserves corporelles au cours du cycle de reproduction de la chèvre. Par ailleurs, non seulement la quantité d'énergie apportée mais aussi la nature des sources énergétiques de la ration ont des effets importants sur leur état sanitaire, leurs performances laitières et la composition de leur lait.

Pour la chèvre adulte

Rôle des réserves corporelles

Les réserves énergétiques essentiellement consituées par des tissus adipeux permettent aux chèvres de s'adapter aux variations des disponibilités alimentaires et de leurs besoins énergétiques.

En début de gestation, les activités lipogéniques des tissus adipeux des chèvres gravides sont supérieures à celles des chèvres non gravides (CHILLIARD *et al.* 1981) ; ainsi le stockage des réserves est important en début de gestation. Toutefois entre la 10e et la 15e semaine de gestation, les tissus adipeux de la chèvre passent d'un état anabolique à un état catabolique (CHILLIARD 1985). Cette modification du métabolisme lipidique se situe au même moment que l'accélération du développement du fœtus et que la diminution de la capacité d'ingestion rapportée au poids vif. Elle ne dépend qu'en partie du bilan énergétique mais elle serait surtout liée à l'évolution des sécrétions hormonales de l'unité fœto-placentaire. Ces résultats qui précisent des observations précédentes (SAUVANT *et al.* 1979, MORAND-FEHR et SAUVANT 1980) confirment qu'au cours des 5 dernières semains de gestation, une partie des réserves énergétiques peuvent être mobilisées de façon intense et que le 4e mois de gestation est une période transitoire. Ces observations sont à la base de la distinction des trois périodes pour établir les apports recommandés pendant la gestation : les 3 premiers mois, le 4e mois, et le 5e mois (MORAND-FEHR et SAUVANT 1988). En outre, au cours du 5e mois de gestation, les valeurs de capacité d'ingestation rapportées au poids vif sont abaissées de 10 %.

Après la mise à bas, les besoins énergétiques de la chèvre sont maximaux dès la fin de la 1re semaine ou en 2e semaine de lactation, alors que la capacité d'ingestion augmente beaucoup plus lentement et n'atteint son maximum qu'entre la 5e et la 8e semaine de lactation. IL en résulte une intense mobilisation lipidique qui induit un bilan énergétique négatif. Cette mobilisation dure en général de 6 à 9 semaines selon CHILLIARD (1985) et représente un maximum de 6 à 8 kg de tissus adipeux. Pour établir les apports énergétiques recommandés, nous avons considéré que la chèvre perd environ 1 kg de tissus adipeux par semaine pendant le 1er mois et 0,5 kg par semaine au cours du 2e mois. C'est la raison pour laquelle, nous avons soustrait pour ces 2 mois 0,53 UFL et 0,26 UFL respectivement, aux besoins totaux (entretien + lactation) des chèvres. En outre, nous avons modulé les valeurs de capacité d'ingestion pendant le premier mois en les fixant en 1re, 2e, 3e et 4e semaine respectivement, à 72, 83, 90 et 95 % de la capacité d'ingestion pendant le reste de la lactation.

La reprise de la lipogénèse est beaucoup plus liée au bilan énergétique, c'est-à-dire au niveau de production laitière et à

la capacité d'ingestion qu'au stade de lactation. En outre d'après CHILLIARD (1985), la lipogénèse des tissus adipeux serait déjà intense entre la 9e et la 18e semaine, même plus qu'en fin de lactation. Ces résultats confortent le bien fondé d'un supplément de 0,16 UFL par jour correspondant à un gain de poids vif de 1,2 kg par mois qui est pris en compte dans les apports recommandés dès la fin du 3e mois.

Estimation de l'état corporel

L'appréciation de l'état d'engraissement des chèvres est très précieuse puisqu'elle permet de moduler le programme alimentaire pour réduire au maximum la mobilisation des réserves en fin de gestation et pour la limiter en début de lactation afin d'éviter les risque d'accidents métaboliques.

En outre dans les systèmes extensifs, les variations de l'état corporel peuvent contribuer à apprécier la valeur d'un parcours au cours de l'année.

L'état corporel des chèvres est difficile à estimer in vivo à l'œil ou par maniement en raison de l'absence ou de la très faible épaisseur des tissus adipeux sous-cutanés et de la proportion importante des tissus adipeux abdominaux (CHILLIARD *et al.* 1981, BAS *et al* 1985). Toutefois SANTUCCI (1984) en s'inspirant du travail effectué sur brebis par RUSSEL *et al.* (1969) a mis au point une méthode d'appréciation de l'état corporel des chèvres corses. Au cours de son application aux chèvres laitières Alpines et Saanen qui semble satisfaisante, MORAND-FEHR *et al.* (1988) ont observé que l'appréciation de l'état d'engraissement au niveau sternal donne plus satisfaction qu'au niveau lombaire.

Concentration énergétique de la ration

Les valeurs de la capacité d'ingestion et des apports énergétiques recommandés imposent des concentrations énergétiques de la ration différentes au cours du cycle de reproduction. Cette concentration peut être faible après le tarissement pendant les 3 premiers mois de gestation, de l'ordre de 0,65 UFL/kg M.S. mais elle doit s'élever au cours du 4e mois de gestation (0,75 UFL/kg M.S.) pour atteindre 0,85 UFL/kg M.S. juste avant la mise bas. Compte tenu de la faible capacité d'ingestion et des besoins élevés, elle doit atteindre 0,90 UFL/kg M.S. en début de lactation et diminuer ensuite régulièrement jusqu'à 0,80 UFL/kg M.S. au 5-6e mois de lactation et 0,75 UFL/kg M.S. juste avant le tarissement.

Dans les conditions de la pratique, le plus difficile est certainement d'atteindre 0,90 UFL/kg M.S. en début de lactation. On y arrive à condition d'utiliser un fourrage ayant une digestibilité élevée.

SAUVANT *et al.* (1984,1987) ont montré qu'à cette période, la chèvre était sensible à une faible variation (2 à 3 points) de la digestibilité de la matière organique (dMO) de la ration (moindre lipo-mobilisation, meilleurs néoglucogénèse).

Nature des souces énergétiques.

Il existe d'après GIGER (1987) une interaction entre la nature du fourrage et la nature de l'aliment concentré, quel que soit le stade physiologique de la chèvre. L'ensilage de maïs entraîne une digestibilité plus faible des constituants de l'aliment concentré, notamment de la fraction pariétale, que le foin de luzerne. En outre, la valeur d'encombrement d'un aliment concentré riche en glucides pariétaux est plus faible avec le foin de luzerne qu'avec l'ensilage de maïs alors que celle d'un aliment riche en amidon est plus faible avec l'ensilage de maïs.

A partir des résultats obtenus dans plusieurs expériences, il semble qu'un concentré riche en paroi cellulaire a tendance à être plus favorable à la production de lait et à sa teneur en matière grasse qu'un concentré riche en amidon de même dMO.

Par ailleurs, la chèvre est sensible à un déficit en acides gras à chaîne longue qui se manifeste avec des rations constituées de foins ou d'ensilages d'herbe, de tubercules, de pulpes de betteraves, d'orge et de tourteaux de graines oléagineuses délipidés par des solvants (MORAND-FEHR *et al.* 1984). Un apport lipidique supplémentaire peut alors améliorer la production de lait et le taux butyreux alors que le taux protéique a légèrement tendance à baisser. L'optimum de concentration de la matière sèche de la ration en acides gras à longue chaîne semble se situer entre 2,5 et 5 % (voir texte de DOREAU *et al.* dans ce même numéro du Bulletin.

Pour l'animal en croissance

La stratégie de l'alimentation des chevreaux en croissance (chevreaux de boucherie et chevrettes d'élevage) a fait l'objet d'une revue assez complète (MORAND-FEHR *et al.* 1982). Les aliments d'allaitement destinés aux veaux peuvent être utilisés par les chevreaux. Leur teneur optimale en matière grasse se situe entre 18 et 22 %. Une partie de la poudre de lait réengraissée peut être remplacée par du lactosérum ou de l'amidon comme source d'énergie.

Au cours du sevrage, le chevreau est en fort déficit énergétique et mobilise ses réserves énergétiques (BAS *et al.* 1986). La distribution d'un aliment concentré très bien accepté et riche en énergie (plus de 1 UFL/kg M.S.) est nécessaire pour réduire au minimum le choc au sevrage. Au cours de la phase de croissance de 5 à 7 mois, il ne serait pas souhaitable de distribuer aux chevrettes d'élevage une ration trop riche en amidon qui risquerait de provoquer un état d'engraissement trop élevé, peu favorable à une production de lait satisfaisante en première année (Résultats de LUSIGNAN, non publiés). Les apports d'aliment concentré doivent se limiter à 100-200 g pendant cette période si la qualité du fourrage le permet.

Besoins azotés

Depuis 1978, le nombre d'études concernant la nutrition et les besoins azotés des caprins a progressé. Cependant une grande partie des résultats a été obtenue sans séparer les besoins liés à la synthèse microbienne du rumen et de ceux concernant le turn-over des tissus et la production de protéines (croissance, gestation, lactation). En outre, la plupart des expérimentations a été conduite sur mâles adultes castrés et sur femelles taries, à l'entretien. C'est à partir de ces connaissances limitées que les besoins en PDI sur caprins à l'entretien, en croissance et en production ont été établies.

Synthèse microbienne dans le rumen

Des mesures de flux duodénal d'azote microbien chez les chèvres laitières (LAURENT 1985, BRUN-BELLUT et HALBOUCHE, non publié) à différents stades physiologiques font apparaître des flux compris entre 12 et 40 g d'azote microbien par jour, et entre 109 et 180 g de MAT microbienne/kg de MOD. La valeur moyenne est proche de celles mesurées sur moutons et vaches (WALDDO et GLENN 1984).

Des estimations de l'azote microbien non digestible présent dans les fécès ont été effectuées par application d'un modèle de régression (BRUN-BELLUT 1986, GIGER 1987).

Azote fécal = f (Azote total ou non fermentescible, MOD, MSI ou CBND).

Les valeurs moyennes obtenues dans le cas de régimes pauvres et riches en azote fermentescible sont identiques et égales à 30 g de matières azotées non digestibles par kg de MOD (Ecart-Type = 3 g).

S'il est admis que le coefficient d'utilisation digestible (C.U.D.) de l'azote microbien dans l'intestin est de 0,80, la quantité de matières azotées microbiennes synthétisées dans le rumen peut être estimée à 150 g/kg MOD (E.T. = 15 g), valeur très proche des 135 g/kg MOD adoptés en 1978 (JARRIGE *et al.* 1978).

L'azote utilisé pour cette synthèse microbienne a deux origines : l'azote alimentaire dégradé dans le rumen et l'azote endogène recyclé. Les estimations des quantités d'azote endogène recyclée chez les caprins sont beaucoup moins nombreuses que celles obtenues sur moutons à l'entretien. Cependant, dès 1970, Houpt indiquait que l'éphithelium du rumen des chèvres semblait avoir une meilleure perméabilité à l'urée que celui des moutons.

Chez les chèvres taries, les résultats obtenus (OBARA et SHIMBAYASHI 1980, BRUN-BELLUT *et al.*, non publié) varient entre 0,23 et 1,9 g d'azote par jour.

En revanche chez les chèvres en lactation (BRUN-BELLUT *et al.*, non publié) comme chez les ovins laitiers (ODDY *et al.*, 1983), les niveaux de recyclage d'urée semblent beaucoup plus élevés. Pour une ingestion multipliée par 1,5 par rapport à l'entretien, les niveaux de recyclage d'urée varient entre 11,3 et 21,6 g d'azote par jour (soit plus de 10 fois le niveau mesuré sur les animaux à l'entretien). Le recyclage net d'azote endogène, estimé par la différence entre les quantités d'azote ingéré et les flux duodénaux, peut représenter jusqu'à 43 % de l'azote ingéré.

Il reste à déterminer l'efficacité de l'utilisation de l'azote recyclé pour la synthèse microbienne.

La teneur en azote fermentescible de la ration peut être un facteur limitant du métabolisme du rumen. Chez des chèvres en lactation recevant des rations composées de pulpes de betteraves déshydratées, de céréales, de tourteau de soja et d'urée, un apport de seulement 5,1 % d'azote fermentescible dans la ration entraîne une chute de l'ingestion (– 16 %) et de production laitière (– 20 %). En revanche pour les apports supérieurs à 6,7 %, la digestibilité de la ration et la production laitière ne sont pas affectées. Cependant la synthèse microbienne augmente pour atteindre un maximum avec un apport de 8,2 % d'azote fermentescible.

Entretien

Les besoins azotés d'entretien peuvent être estimés sur animal entier par 2 méthodes : la méthode factorielle et la méthode des bilans.

Méthode factorielle

Les exportations minimales d'azote dans les fécès (azote fécal métabolique : MFN) et dans l'urine (azote urinaire endogène : EUN) sont estimées soit par mesure directe, soit par régression.

* *Azote urinaire endogène :* l'ensemble des résultats obtenus par mesure directe (RAJPOOT *et al.*, 1981), ou par régression sur mâles castrés ou femelles taries est compris entre 0,10 et 0,13 g d'azote/kg $P^{0.75}$. Aucun effet lié au sexe ou à la race des animaux adultes n'a pu être mis en évidence.

Les résultats obtenus par régression sur chèvres en lactation par BRUN-BELLUT (1986) (m = 0,10, E.T. = 0,04) et par GIGER (1987) : (m = 0,17, E.T. = 0,03) ne sont pas différents de ceux obtenus sur animaux à l'entretien.

* *Azote fécal métabolique :* les valeurs sont obtenues sur chèvres à l'aide d'équations de régression de 2 types : Azote fécal = a Azote ingéré + b MSI (1).

$$\text{Azote fécal} = a\ \text{Azote ingéré} + b\ \underset{\text{ou Azote insoluble}}{\text{MOD}} = C\ \underset{\text{ou Cellulose brute non digestible (CBND)}}{\text{MOND}} \quad (2)$$

Les valeurs obtenues dans l'équation 1 varient entre 0,22 et 0,50 g MFN par 100 g matière sèche ingérée.

Les valeurs obtenues par l'équation 2 : 0,017 g/g CBND ou 0,013 g/g MOND correspondent à 0,10 g par 100 g MSI pour des chèvres en lactation (BRUN-BELLUT *et al.* 1984, GIGER 1987).

Ramenées au poids métabolique, les valeurs moyennes obtenues pour chaque auteur sont comprises entre 0,10 et 0,19 g MFN/kg $P^{0,75}$.

Pour toutes les chèvres excepté l'Angora, les pertes d'azote au niveau de la peau seraient proches de celles mesurées sur les bovins : 0,02 kg d'azote/kg $P^{0,75}$.

Les dépenses minimales d'azote sont donc en moyenne de 0,28 g/$P^{0,75}$. Le passage des pertes aux besoins azotés se fait par application d'un rendement d'utilisation des protéines digérées pour l'excrétion urinaire (NRC 1981). Dans le cas du système PDI où la "digestibilité intestinale vraie" des protéines est prise en compte, MFN doit faire partie des besoins d'entretien. Dans ce cas, les besoins d'entretien sont de 2,1 g PDI/kg $P^{0,75}$.

Méthode des bilans azotés

Les besoins azotés d'entretien estimés par régression : Azote digéré = f (Azote retenu) sur mâles castrés ou femelles taries sont compris entre 1,7 et 3,5 g MAD/kg $P^{0,75}$. Les résultats obtenus en France sur mâles castrés (BLANCHART *et al.* 1980) sont de 1,9 g PDI/kg $P^{0,75}$.

A partir de modèles d'ajustement, les besoins d'entretien ont été déterminés sur des chèvres en lactation : m = 2,0 g PDI/kg $P^{0,75}$, E.T. = 0,6 g pour BRUN-BELLUT (1986) ; m = 2,3 g PDI/kg $P^{0,75}$ pour SAUVANT (non publié). Ces résultats ne sont pas significativement différents de ceux obtenus sur les animaux à l'entretien, ni de ceux estimés par la méthode factorielle.

Production de poil

Les pertes minimales journalières d'azote dans la pousse des poils est de 0,01 g/kg $P^{0,75}$ pour les chèvres Alpines ou Saanen en lactation (BRUN-BELLUT 1986) ; cette valeur est à rapprocher de celle de 0,02 g/kg $P^{0,75}$ obtenue sur vaches par TAMMINGA et OLDHAM (1980). Les pertes d'azote par la peau et en particulier par la sueur sont très faibles en zone tempérée mais probablement plus importantes en milieu tropical. De ce fait, ces pertes ne sont pas à prendre en compte en zone tempérée dans les apports recommandés.

Pour les chèvres Angora, les pertes azotées pour la production de poil peuvent être calculées à partir des résultats de HUSTON *et al.* (1971). Elles varient entre 0,03 g et 0,10 g/kg $P^{0.75}$ selon le niveau de production (BRUN-BELLUT *et al.* 1987). Le NRC (1981) reprenant les données de HUSTON *et al.* (1971) proposent un besoin de 3 g de MAD par jour et par kg de mohair produit par an. En supposant que le rendement de PDI pour cette production est équivalent à 80 % de celui des MAD, l'apport recommandé en PDI est de 12,5 g par kg de mohair produit dans l'année à ajouter aux apports recommandés des chèvres. Pour une chèvre de 60 kg à l'entretien produisant 5 kg par an, 12,5 g de PDI sont à ajouter avec 50 g de PDI soit 25 % de l'apport recommandé pour l'entretien, qui est le même pourcentage que celui préconisé par Huston.

Gestation

Il n'existe, à notre connaissance, pas de données expérimentales concernant le métabolisme azoté pendant la gestation chez la chèvre.

AKINSOYINU *et al.* (1978) indiquent que pour les deux derniers mois de gestation, les recommandations sont de 4,68 g MAD/kg $P^{0,75}$, alors que SENGAR (1980) estime le besoin à 5,55 MAD/kg $P^{0,75}$.

A la mise bas, le poids des chevreaux représente entre 11 et 14 % du poids de la mère. Les travaux de RATTRAY *et al.* (1971) sur moutons, ainsi que ceux de JAGUSH *et al.* (1983) sur la composition du chevreau nouveau-né nous permettent d'estimer les besoins de gestation totaux à 2,8 kg PDI pour l'ensemble de la période, soit sur les deux derniers mois à 2,0 g PDI/kg $P.^{0,75}$/j. Les besoins quotidiens en PDI pendant cette fin de gestation seraient d'un peu moins de 2 fois les besoins d'entretien.

Lactation

Il est généralement admis que la synthèse protéique mammaire et les produits nécessaires à celle-ci sont semblables chez la vache et la chèvre.

En début de lactation, les chèvres ont la possibilité d'utiliser une part de leurs protéines tissulaires issues de l'involution utérine. Les bilans azotés négatifs sont essentiellement obtenus sur des chèvres en tout début de lactation (2e à 4e semaine) (BRUN-BELLUT *et al.* 1984), c'est donc environ 4 % de la production protéique d'une lactation qui peut provenir de l'azote mobilisé. Pour BARNES ET BROWN (1986), les chèvres peuvent mobiliser entre 4 et 8 % de leurs protéines corporelles.

La compilation et le calcul de rendements de la transformation de l'azote digéré non utilisé pour l'entretien en azote protéique du lait font apparaître des valeurs comprises entre 0,31 et 0,80. Certains auteurs tels que CISUK (1980), observent qu'à même niveau de protéines ingérées, la qualité de celles-ci peut modifier la valeur du rendement (0,45 à 0,72).

Des estimations du rendement ont été effectuées à partir de modèles d'ajustement de la forme PDIE = f (poids vif, protéines lait, azote retenu, DPDI) pour des régimes riches (Giger 1987) ou carencés en azote fermentescible (BRUN-BELLUT 1986). Les résultats obtenus dans ces 2 cas ne sont pas significativement différents (m = 0,80 g, E.T. = 0,08 g ; m = 0,75 g, E.T. = 0,06) et proches de l'ensemble des valeurs recensées sur vaches laitières par VERITE et JOURNET (1978) et TAMMINGA et OLDHAM (1980).

La plupart des recommandations alimentaires sont très proches ou identiques aux valeurs proposées pour les vaches laitières (MORAND-FEHR et SAUVANT 1978, NRC 1981). La valeur retenue pour les actuelles recommandations est de 45 g PDI par kg de lait standard à 35 p. 1 000 de TB et à 29 p. 1 000 de TP.

Croissance

Peu de mesures ont été menées sur le turn-over et la croissance de tissus protéiques des chevreaux. A partir des équations proposées par l'ARC (1980) et ROBELIN et DAENICKE (1980) concernant l'évolution de la composition du croît chez les bovins et les ovins, et de la composition des carcasses de chevreaux et chèvres mesurée par ELIOTT *et al.* (1959), PANARETTO et TILL (1963), JAGUSH *et al.* (1983), nous avons estimé le pourcentage de protéines dans le gain moyen quotidien des chevreaux et chevrettes. Puis en appliquant un rendement de 0,65 concernant l'utilisation des PDI pour la croissance, nous avons estimé les besoins protéiques des animaux en croissance (tableau 3).

TABLEAU 3

Proportion de protéines dans le croît et besoins en PDI des chevreaux en croissance.

	Poids vif (kg)	G.M.Q. (g/j)	% protéines dans GMQ	besoins PDI (g/j)
mâles	10	200	18	85
femelles	10	165	16,1	65
	20	140	15,0	62
	30	70	13,9	50
	40	60	13,6	50

Les besoins azotés des caprins présentés dans la bibliographie sont généralement exprimés en matière azotée brute ou digestible. BRUN-BELLUT *et al.* (1987) les a récemment analysés. Le système français des PDI semble plus intéressant pour évaluer les apports recommandés des caprins comme l'ont souligné SAUVANT et GIGER (1983) et GIGER (1987) parce qu'il prend en compte les trois principaux facteurs de variation de l'excrétion azotée urinaire (quantité ingérée, bilan azoté et rapport D PDI/dMO), et qu'il permet d'estimer la valeur de sources azotées particulières comme l'urée ou les tourteaux tannés.

Par ailleurs, le système PDI prend en compte la dégradabilité des sources azotées dans le rumen. Or HADJIPANYIOTOU (1986) n'a observé aucune différence de dégradabilité du soja et de la farine de poisson chez la chèvre et le mouton ; cela contribue à penser que les valeurs PDI des aliments sont tout à fait applicables à l'alimentation des caprins.

Stratégie de l'alimentation azotée des caprins et apports recommandés

Au cours du cycle de production

Après le tarissement, les besoins des chèvres sont relativement faibles. En système intensif, les quantités ingérées de PDI sont fréquemment supérieures aux apports recommandés sans aucune conséquence défavorable sur les performances de reproduction et sur la production laitière ultérieure. En système extensif, les apports azotés provenant du parcours peuvent suffire en automne, mais plus difficilement en hiver. Les besoins azotés augmentent rapidement après le 3e mois de gestation pour

atteindre 120 % du besoin d'entretien au 5e mois. Ces apports azotés supplémentaires ne peuvent être ajoutés à la ration en une seule étape, il est donc nécessaire d'augmenter de 60 % les apports d'entretien au 4e mois comme le proposent MORAND-FEHR et SAUVANT (1988).

En début de lactation, les besoins azotés augmentent très fortement alors que la synthèse des protéines microbiennes est réduite en raison de la capacité d'ingestion limitée et de la faible capacité de mobilisation des réserves azotées des chèvres. En conséquence, il est absolument nécessaire de réduire rapidement le déficit azoté des chèvres en début de lactation si l'on désire éviter une baisse précoce de production laitière. C'est la raison pour laquelle les apports recommandés proposés en 1988 ont été calculés pour atteindre l'équilibre azoté dès la troisième semaine en tolérant un déficit de 85 et 25 g de PDI respectivement en 1ere et 2e semaine de lactation. Dès le 4e mois, les chèvres reprennent de 0,6 à 1,9 kg de poids vif. On a estimé que l'apport azoté recommandé correspondant à ce gain de poids était en moyenne égal à 4 g de PDI par jour.

Au cours de la croissance

Chez le chevreau en période lactée, il semble qu'une teneur en protéines de 22 % dans l'aliment d'allaitement est satisfaisante d'après MORAND-FEHRr *et al.*(1982), MOWLEM (1985) et HADJIPANAYIOTOU (1985). Au sevrage, en raison de la faible ingestion des aliments secs et en particulier des fourrages, il faut distribuer un aliment concentré riche en matière azotée (18 % de MAT, 16 % de MAD ou 13 % de PDI). Mais rapidement la teneur en matière azotée de la ration totale des chevrettes d'élevage doit baisser pour atteindre 10 % de MAT ou 60 % de PDI environ par kg de matière sèche à l'âge de 6-7 mois (Morand-Fehr *et al.* 1982).

Particularités de l'alimentation azotée des caprins

Les réponses des chèvres à l'utilisation des différentes sources azotées sont dans la plupart des cas semblables à celles des autres ruminants, notamment lorsque deux sources azotées sont comparées comme le tourteau de soja et l'urée (LINBERG et CISZUK 1985) en bien les tourteaux de soja tanné et non tanné (HADJIPANAYIOTOU 1986) etc...

Toutefois la chèvre parait tolérer beaucoup mieux une teneur élevée de tannins dans les aliments ingérés que le mouton. Une telle teneur déprime la balance azotée du mouton alors qu'elle n'a pas d'effet sur celle de la chèvre (NARJISSE et EL HANSALI 1985). Cela peut expliquer pourquoi la chèvre est apte à mieux utiliser la végétation d'un parcours arboré.

Par ailleurs, il semble que la chèvre peut tolérer un déficit PDIN-PDIE relativement important : jusqu'à 10-15 g par UFL lorsque les besoins azotés sont couverts (SAUVANT, résultats non publiés), très probablement à cause d'un recyclage efficace de l'urée. En outre, un déficit azoté réduit la population microbienne du rumen chez le mouton mais ne la réduit pas chez la chèvre (ALRAHMOUN *et al.* 1985). Tous ces faits contribueraient à expliquer la meilleure utilisation digestive des fourrages de faible valeur alimentaire, et pauvres en matières azotées par la chèvre.

Apports minéraux recommandés

En 1978 les apports recommandés en calcium et en phosphore avaient été établis à partir des coefficients d'utilisation digestive réelle (CUDr = CAR : coefficient d'absorption réelle) obtenus sur brebis, et de la composition minérale du lait de chèvre. Hove (1984) a enregistré une augmentation du CUDr du calcium de 20 à 43 % lorsque l'ingestion de Ca passait de 12 à 4 g/j sur des chèvres produisant 0,5 à 0,8 kg de lait ; ce qui conforte les hypothèses sur lesquelles le calcul des besoins reposait, notamment le CUD r du Ca de 30 %. En outre, cet auteur a observé un plus fort CUDr du calcium chez les chèvres gestantes ou en lactation que chez les chèvres à l'entretien.

Toutefois, les apports recommandés ont été revus chez les chèvres en lactation pour tenir compte de la part plus élevée de calcium et de phosphore d'orgine minérale que d'origine organique dans la ration des fortes productrices. Ainsi, les apports recommandés de Ca et P pour le 1er kg de lait produit sont de 4,0 et 2,5 g respectivement mais ceux du 6e kg produit ne sont plus que de 2,5 et 1 g. Cette modification permet de se rapprocher des recommandations proposées en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis qui sont en général un peu plus basses (NRC 1986, HAENLEIN 1987, WILKINSON et STARK 1987) alors que KESSLER (1981) en Suisse a adopté nos propositions en 1978.

Les apports recommandés pour les autres minéraux (Mg, K, Na, Cl), les oligo-éléments et les vitamines ne sont pas spécifiques aux caprins en raison de l'information très fragmentaire dont on dispose sur cette espèce.

Stratégie de l'alimentation minérale des caprins

La stratégie à adopter pour les apports minéraux est comparable à celle de la vache pour la chèvre et à celle de l'agneau et de l'agnelle pour le chevreau de boucherie et la chevrette d'élevage. Toutefois 3 aspects doivent être rappelés en raison de leur importance chez les caprins.

Il est fortement conseillé d'éliminer l'apport complémentaire de calcium pendant les 2 ou 3 dernières semaines de gestation afin d'améliorer le CUDr en début de lactation et de réduire les risques de fièvre vitulaire.

Les jeunes chevreaux mâles étant très sensibles à la lithiase urinaire, il est souhaitable de réduire l'apport de phosphore et même de limiter l'apport de céréales dans les rations des futurs reproducteurs ou des chevreaux de boucherie abattus après le sevrage.

Même si les chevreaux semblent légèrement moins sensibles à l'intoxication par le cuivre que les agneaux, il est souhaitable de limiter les apports en cuivre à 15 mg/kg M.S.

Conclusion

Si certains besoins des caprins sont maintenant bien connus comme les besoins énergétiques et azotés d'entretien et de lactation, un effort doit encore être fourni sur cette espèce dans le domaine de la gestation et de la croissance et aussi sur les besoins minéraux et vitaminiques ainsi que sur les aspects spécifiques de la production de poil Angora.

En outre, il faudrait disposer de données plus précises sur les dépenses liées à la marche et à l'exploitation de parcours et aussi sur les capacités d'adaptation au milieu de certaines races de chèvre qui peuvent entraîner une modification des apports recommandés.

Références bibliographiques

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, ARC., 1980. The nutrient requirements of Ruminant Livestock Commonwealth Agricultural Bureaux.

AKINSOYINU A.O., MBA A.U., OLUBAJA F.O., 1978. Studies of energy and protein utilization for pregnancy and lactation by the West African dwarf goats in Nigeria. Dairy Sci. Abstr. 40, 113.

ALRAHMOUN W., BELLET B. MASSON C., TISSERAND J.L., 1985. Effets comparés du régime alimentaire sur l'activité microbienne dans le rumen des ovins et des caprins. Reprod. Nutr. Develop. 25, 757 (Abst.).

ANTONIOU T., HADJIPANAYIOTOU M., 1985. The digestibility by sheep and goats of five roughages offered alone or with concentrates. J. Agric. Sci. Camb. 105, 663-671.

BARNES D.M., BROWN D.L.J., 1986. Protein mobilization during lactation in goats as determined by nitrogen balance and deuterium oxyde. J. Dairy Sci. 69 suppl., 387.

BAS P., MORAND-FEHR P., ROUZEAU A., CHILLIARD Y., 1985. Weight and metabolism of goat adipose tissues during pregnancy and lactation. Ann. Zootech. 34, 483-484.

BAS P., ROUZEAU A., MORAND-FEHR P., 1986. Lipogénèse des tissus adipeux de chevreaux sevrés à 4, 6 et 8 semaines. Reprod. Nutr. Dévelop., 26, 649-658.

BLANCHART G., BRUN-BELLUT J., VIGNON B., 1980. Comparaison des caprins aux ovins quant à l'ingestion, la digestibilité et la valeur alimentaire de diverses rations. Reprod. Nutr. Dévelop. 20, 1731-1737.

BLAXTER K.L., 1974. Metabolisable energy and feeding systems for ruminants. In Proc. Nutr. Conf. Feed Manufacturers, Nottingham. Butterworths, London, p3-25.

BROWN L.E., JOHNSON W.L., 1984. Comparative intakes and digestibility of forages and by-products by goats and sheep : a review. Intern. goat Sheep Res. 2, 212-226.

BRUN-BELLUT J., BLANCHART G., VIGNON B., 1984. Determination des besoins azotés de la chèvre en lactation. Ann. Zootech. 33, 171-181.

BRUN-BELLUTJ., 1986. Détermination des besoins azotés de la chèvre en lactation. Thèse d'Etat Institut National Polytechnique de Lorraine. 80p.

BRUN-BELLUT J., BLANCHART G., LAURENT F., VIGNON B., 1987. Nitrogen requirements for goats. In Proc. 4th Conf. Intern. on Goats Brasilia, March 8-13 1987, p1205-1228.

CHILLIARD Y., SAUVANT D., BAS P., PASCAL G., MORAND-FEHR P., 1981. Importance relative et activités métaboliques des différents tissus adipeux de la chèvre laitière. In "Nutrition et système d'alimentation de la chèvre" ed. by P. MORAND-FEHR, A. BOURBOUZE et M. DE SIMIANE, INRA-ITOVIC, p80-89.

CHILLIARD Y., 1985. Métabolisme de tissus adipeux, lipogénèse mammaire et activités lipoprotéine-lipasiques chez la chèvre au cours du cycle gestation-lactation. Thèse de doctorat d'état. Université Pierre et Marie Curie Paris 6, 134p.

CISUK P., 1980. Nitrogen balance and digestibility in lactating goats on rations with varied nitrogen and energy sources. Rapport n°53 46p.. Swedish Univ. Agricultural Sciences, Dep. Animal Nutrition, Uppsala (Sweden).

DEVENDRA S., 1978. The digestive efficiency of goats. World Rev. Animal Prod. 14, 9-22.

DEVENDRA C., BURNS M. 1982. Goat production in the tropics. 2nd Ed. C.A.B. Farham Royal.

ELIOTT H., UNDERBJERG G.K.L., HUGUES S.S., 1959. Body fluid of ruminant and their simultaneous determination. Am. J. Vet. Res. 20, 184-192.

GIGER S., SAUVANT D., HERVIEU J., DORLEANS M., 1986. Etude de la prévision de la digestibilité des rations mixtes distribuées à des chèvres laitières par ses caractéristiques analytiques. Ann. Zootech. 35, 137-160.

GIGER S., SAUVANT D., HERVIEU J., DORLEANS M., 1987. Valeur alimentaire du foin de luzerne pour la chèvre. Ann. Zootech. 36, 139-152.

GIGER S., 1987. Influence de la composition de l'aliment concentré sur la valeur alimentaire des rations destinées au ruminant laitier. Thèse de Docteur-Ingénieur INA-PG. 2 octobre 1987. 118p.

GIHAD E.A., EL-BEDAWY J.M., MEHREZ A.Z., 1980. Fiber digestibility by goats and sheep. J. Dairy Sci. 63, 1701-1706.

HADJIPANAYIOTOU M., 1985. The effect of suckling type on the pre and post weaning lactation performance of Damascus goats and the growth rate of the kids. Ann. Zootech. 34, 489 (Abst.).

HADJIPANAYIOTOU M., 1986. Effect of protein source on the performances of lactating Chios ewes and Damascus goats and degradability of protected and unprotected soybean in the rumen of goats. FAO Meeting on Goat Nutrition, Nancy, 7-8 octobre 1986.

HADJIPANAYIOTOU M., 1987. Intensive feeding systems for goats in the Near East. In Proc. 4th Intern. Conf. on goats. Brasilia, March 8-13th 1987, p1109-1141.

HAENLEIN G.F.W., 1987. Mineral and Vitamin requirements of goats. In Proc. 4th Intern. Conf. on goats. Brasilia, March 8-13th 1987, p1246.

HOLMES C.W., MOORE Y.F., 1981. Metabolisable energy required by feral goats for maintenance and the effects of cold climatic conditions on their heat production. Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod., 41, 163-166.

HOUPT T.R., 1970. Transfer of urea and ammonia to the rumen. In A.T. Phillipson, Ed. "Physiology of digestion and metabolism in the ruminant". Oriel Press, Newcastle-upon-Tyne, p119-131.

HOVE K., 1984. Intestinal radiocalcium absorption in the goat : measurement by a double isotope technique. Brit. J. Nutr. 51, 145-156.

HUSTON J.E., SHELTON M., ELLIS W.C., 1971. Nutritional requirements of the Angora goats. Texas Agric. Exp. Station Bull. 1105-1112.

JAGUSH K.T., DUGANZICH D.M., KIDD G.T., CHURCH S.M., 1983. Efficiency of goat milk utilization by their milk fed kids. N.Z. J. Agric. Res. 23, 443-445.

JARRIGE R., JOURNET M., VERITE R., 1978. Chapitre 3 : Azote, in "Alimentation des Ruminants". Ed. INRA Publ, p89-128.

KESSLER J., 1981. Eléments minéraux majeurs chez la chèvre : données de base et apports recommandés. In "Nutrition et Systèmes d'alimentation de la chèvre" ed. by P. MORAND-FEHR, A. BOURBOUZE, M. DE SIMIANE, INRA-ITOVIC, p196-209.

LAURENT F., 1985. Flux d'acide ribonucléique dans le tube digestif de petits ruminants. Thèse INPL-Nancy.

LINDBERG J.E., CISZUK P., 1985. Nitrogen utilization in lactating dairy goats. Ann. Zootech. 34, 477 (Abst.).

LU D.C, OSBORN R.G., KAWAS J.R., ARRUDA F., 1987. Prediction of dry matter intake in lactating and growing dairy goats. In "Proc. 4th Intern. Conf. on goats". Brasilia, March 8-13th 1987, p1386 (Abst).

MALECHEK J.C., PROVENZA F.D., 1981. Feeding behavior and nutrition of goats on rangelands in "Nutrition et systèmes d'alimentation de la chèvre" ed. by P. MORAND-FEHR, A. BOURBOUZE et M. DE SIMIANE, INRA-ITOVIC, p41-428.

MASSON C., ALRAHMOUN W., TISSERAND J.L., 1986. Etude comparée de la quantité ingérée, de la digestibilité, de l'utilisation de l'azote, du temps moyen de rétention et du comportement alimentaire de diverses rations. Reprod. Nutr. Develop., 20, 1731-1737.

MORAND-FEHR P., 1981 a. Nutrition and feeding goats : application to temperate climatic conditions. In "Goat production" ed. C. Gall, Academic Press, p193-232.

MORAND-FEHR P., 1981 b. Caractéristiques du comportement alimentaire et de la digestion des caprins. In : "Nutrition et système d'alimentation de la chèvre" ed. by P. MORAND-FEHR, A. BOURBOUZE et M. DE SIMIANE. INRA-ITOVIC, p21-45.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., 1978. Chapitre 15 : Caprins. In "Alimentation des ruminants" Ed. INRA Publications Versailles pp449-467.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., 1980. Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. J. Dairy Sci. 63, 1671-1680.

MORAND-FEHR P., HERVIEU J., SAUVANT D., 1980. Contribution à la description de la prise alimentaire. Reprod. Nutr. Dével. 20, 1641-1644.

MORAND-FEHR P., HERVIEU J., BAS P., SAUVANT D., 1982. Feeding of young goats. In Proc. 3rd Intern. Conf. on goat production and disease, Jan. 10-15 1982, Tucson, p90-108.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., 1984. Feeding goats in "Livestock feeds and feeding", CHURCH (ed), O and B Books Inc. 2e ed. p372-388.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., BAS P., 1984. Utilisation des matières grasses chez les ruminants : expériences françaises réalisées sur chèvres laitières. In "Peut-on et comment utiliser les matières grasses dans les rations des vaches laitières" Paris 8 oct. 1984. CAAA INA-PG pD2-D22.

MORAND-FEHR P., DE SIMIANE M., SANTUCCI P., BOURBOUZE A., NAPOLEONE M., BAS P., HUBERT B., MAESTRINI O., 1985. Contribution des ressources pastorales aux apports alimentaires et aux besoins des chèvres. In "10e Journées de la Recherche ovine et caprine" INRA-ITOVIC, p159-177.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., 1987. Feeding strategies in goats. In Proc. of the 4th Intern. Conf. on goats. Brasilia, March 8-13 1987, p1275-1303.

MORAND-FEHR P., Sylvie GIGER, SAUVANT D., BROQUA B., DE SIMIANE M., 1987. Utilisation des fourrages secs par les caprins. In : C. DEMARQUILLY (ed) "Les fourrages secs, récolte, traitement, utilisation", INR, Paris, 391-422.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., 1988. Alimentation des caprins. In "Précis sur l'alimentation des ruminants" Ed. INRA Publ. Versailles (in press).

MORAND-FEHR P., BRANCA A., SANTUCCI P., NAPOLEONE M., 1988. Méthodes d'estimation de l'état corporel des chèvres reproductrices. In Proc. Symposium Philoekios : Evaluation des ovins et des caprins méditerranéens. Santarem (Portugal) 23-25 septembre 1987, CEE Agrimed ed. (in press).

MOWLEM A., 1985. The use of milk replacers based on soja protein and whey for kids. Ann. Zootech. 34, 490-498.

NARJISSE H., EL HANSALI M., 1985. Effects of tannins on nitrogen balance and microbial activity of rumen fluid in sheep and goats. Ann. Zootech. 34, 482 (Abst).

NRC., 1981. N°15 Nutrient requirements of goats : Angora, dairy and meat goats in temperate and tropical countries. National Academic Press, Washington D.C.

OBARA Y., SHIMBAYASHI K., 1980. The appearance of re-cycled urea in the digestive tract of goats during the final third of a once daily feeding of a low-protein ration. Br. J. Nutr., 44, 3, 295-304.

ODDY V.H., GOODEN J.M., ANNISON E.F., 1983. Effect of diet and physiological state on recycling of urea in merinos ewes. S. Afr. Tydshr. Veeh. 13, 70-72.

OYENUGA V.A., AKINSOYINU A.O., 1976. Nutrient requirements of sheep and goat of tropical breeds. In "1st International Symposium : Feed composition, animal nutrient requirements and computerization for diets". Utah State University. Logan, USA, p505-511.

PANARETTO B.A., TILL A.R., 1963. Body composition in vivo : II. the composition of mature goats and its relationship between the antipyrine tritiated water and N acetyl 4-amino antipyrine space. Austr. J. Agric. Res. 14, 926-938.

RAJPOOT R.L., 1978. Energy and protein in goat nutrition. Ph. D. Thesis Dept. Anim. Dairy R.B.S. Coll. Biochpuri. India.

RAJPOOT R.L., SANGAR O.P.S., SINGH S.N., 1981. Energy and protein in goat nutrition. In "Nutrition et systèmes d'alimentation de la chèvre". ed. by P. MORAND-FEHR, A. BOURBOUZE, M. DE SIMIANE, INRA-ITOVIC, p101-124.

RATTRAY P.V., GARRETT W.N., EAST N.E., HINMAN N., 1971. Growth development and composition of ovine conceptus and mammary gland during pregnancy. J. Animal Sci. 38, 613-621.

ROBELIN J., DAENICKE R., 1980. Variations of net requirements for cattle growth with live weight, gain breeds and sex. Ann. Zootech. 29, N° hors série, 99-118.

RUSSEL A.J.F., DONEY M.J., GUNN R.G., 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. J. Agric. Sci. (Camb.) 72, 451-454.

SANTUCCI P., 1984. Essai de mise au point d'une méthode d'estimation de l'état d'engraissement des chèvres corses. Séminaire FAO sur la Nutrition et l'Alimentation des caprins, Grangeneuve (Suisse), 16-18 octobre 1984.

SANZ SAMPELAYO M.R., MUNOZ F.J., GUERRERO J.E., BOZA J., 1987. Energy metabolism in kids of the Granadina breed. Proc. Intern. Conf. on goats, Brasilia, March 8-13 1987 Vol. II, 1398 (Abstr.).

SAUVANT D., CHILLIARD Y., MORAND-FEHR P., 1979. La mobilisation des réserves énergétiques par la chèvre laitière. Les dossiers de l'élevage. 3 (5), 49-58.

SAUVANT D., 1981. Alimentation énergétique des caprins. In "Nutrition et systèmes d'alimentation de la chèvre" ed. by P. MORAND-FEHR, A. BOURBOUZE, M. DE SIMIANE. Tours (France) 12-15 mai 1981, INRA-ITOVIC, p55-79.

SAUVANT D., MORAND-FEHR P., 1981. Goats : Prediction of volutary food intake during lactation. Intern. Goat Sheep Res. 1 (4) 274-281.

SAUVANT D., GIGER S., 1983. Comparaison des systèmes PDI et MAD chez la chèvre laitière. In "Métabolisme et Nutrition Azotée" Clermont-Ferrand, 5-9 septembre 1983, Ed. INRA Publ. p199-202.

SAUVANT D., MORAND-FEHR P., BAS P., 1984. Facteurs favorisant l'état de cétose chez la chèvre. In "Les malaides de la chèvre" Niort (France) 9-11 oct. 1984. Ed. INRA Publ. (Les colloques de l'INRA n°28) p369-378.

SAUVANT D., MORAND-FEHR P., 1987. Considerations on energy requirements and allowances of goats. 4th Intern. Conf. on Goats. Brasilia, March 8-13 1987.

SAUVANT D., HERVIEU J., GIGER S., TERNOIS F., MANDRAN N., MORAND-FEHR P., 1987. Influence of the diet organic matter digestibility on the goat nutrition and production at the onset of lactation. Ann. Zootech. 37, (3) (Abst.) in press.

SENGAR O.P.S., 1980. Indian research on protein and energy requirements of goats. J. Dairy Sci. 63, 1655-1670.

SILINAKOVE N., 1986. Interrelationships between feed quality digestibility, feed consumption and energy requirements in desert (bedouin) and temperate (Saanen) goats. J. Dairy Sci. 69, 2157-2162.

DE SIMIANE M., GIGER S., BLANCHART G., HUGUET L., 1981. Valeur nutritionnelle et utilisation des fourrages cultivés intensivement in "Nutrition et systèmes d'alimentation de la chèvre" ed. by P. MORAND-FEHR, A. BOURBOUZE, M. DE SIMIANE, INRA-ITOVIC, p274-299.

DE SIMIANE M., HUGUET L., MASSON C., 1983. Comportement alimentaire des chèvres à l'auge et au pâturage : aspects liés au fourrage et à l'animal. Conséquences sur les performances zootechniques. In : Exploitation des fourrages verts par les ovins et les caprins. 8e Journées de la Recherche ovine et caprine. INRA-ITOVIC, p71-100.

TAMMINGA S., OLDHAM J.D., 1980. Amino-acid utilization by dairy cows. Concept of amino-acids requirements. Livest. Prod. Sci. 7, 453-456.

TISSIER M., THERIEZ M., 1978. Chapitre 14 : Ovins. In "Alimentation des Ruminants". Ed. INRA Publ. Versailles, p403-448.

VAN SOEST P.J., 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. O and B Books Inc Oregon, USA.

VERITE R., JOURNET M., 1978. Vaches laitières. In : "Alimentation des Ruminants". Ed. INRA Publications, Versailles.

WALDO D.R., GLENN B.P., 1984. Comparison of new protein systems for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 67, 1115-1133.

WILKINSON J.M., STARK B.A., 1987. The nutrition of goats. In "Recent advances in animal nutrition" ed by W, HARESIGN and D.J.A. COLE. Butterworths. p91-106.

Reproduction, même partielle, interdite sans autorisation des auteurs
et de l'Institut national de la Recherche agronomique
Directeurs de la Publication : C. MALTERRE et A. HODEN

I.N.R.A Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles
Dépôt légal : 1er trimestre 1988
N° C.P.P.A.P. : 573 ADEP

Achevé d'imprimer le 18 janvier 1988
sur les presses de l'Imprimerie «La Source d'Or» - 63200 Marsat
Dépôt légal : 1er trimestre 1988
Imprimeur n° 2989